

नि. इ. कोशकिन, मि. ग्रि. शिकेविच

# सरल भौतिकी निदर्शिका

“मीर” प्रकाशन-गृह, मास्को

सरल भौतिकी निदर्शिका

नि० इ० कोशकिन  
मि० पि० शिक्कविण

## सरल भौतिकी निदर्शिका

Н. И. Кошкин  
М. Г. Ширкевич

СПРАВОЧНИК  
ПО ЭЛЕМЕНТАРНОЙ  
ФИЗИКЕ

"Наука" Москва

नि.इ.कोशकिन  
मि.ग्रि.शिर्केविच

सरल भौतिकी  
निदर्शिका

अनुवादक :  
देवेन्द्र प्रवर्मा



"मीर" प्रकाशन-गृह, मास्को



पीपुल्स पब्लिशिंग हाउस लिमिटेड  
नई दिल्ली



N.I. Koshkin  
M.G. Shirkevich

# HANDBOOK OF ELEMENTARY PHYSICS

## परिचय

प्रो० निकोलाई इवानोविच कोशकिन (डी० एस०-सी०) मास्को के क्रुम्काया शिक्षक-प्रशिक्षण संस्थान में भौतिकी-विभाग के अध्यक्ष हैं; मिखाइल ग्रिकोरिये-विच शिरकेविच (पी० एच० डी०) लेनिनाबाद के शिक्षक-प्रशिक्षण संस्थान में भौतिकी-विभाग के डीसेंट है।

पुस्तक में सरल भौतिकी की सभी शाखाएं निहित हैं। इसमें भौतिक अवधारणाओं की परिभाषाएँ और भौतिक नियमों के संक्षिप्त विवरण दिये गये हैं। सूचनार्थ सारणियाँ व ग्राफ भी संकलित हैं।

पुस्तक में अंतर्राष्ट्रीय इकाई-प्रणाली और आधुनिक संकेतों का प्रयोग हुआ है। परिभाषाओं का नियमन आधुनिक भौतिकी की आत्मा के अनुकूल है।

निर्देशिका का उपयोग माध्यमिक विद्यालयों व तकनीकी विद्यालयों के छात्र कर सकते हैं। यह उन लोगों के लिये भी लाभकर सिद्ध होगी, जिन्हें विभिन्न भौतिक राशियों के साथ काम पड़ना रहता है।

На языке хинди

© Издательство "Наука", 1980

© हिंदी अनुवाद, "सीर" प्रकाशन-पु०, 1984

## विषय-सूची

प्रावकथन	...	...	xvii
निर्देशिका के उपयोगकर्ताओं के लिये संक्षेप सूचनार्थ	...	...	xix
भूमिका	...	...	xxi
अदिश और सदिश	...	...	xxi
इकाइयों की प्रणालियाँ	...	...	xxiii

## अध्याय 1

## गति

## A गति

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	1
1. स्थानांतरण, वेग, त्वरण	...	2
2. घूर्णन-गति	...	5
3. जड़त्वी और अजड़त्वी गति	...	8
4. पार्श्व गुरुत्वाकर्षण-क्षेत्र में पिण्डों की गति	...	10
सारणी	...	13
सा. 1. त्वरण (सन्निकट मान)	...	13
सा. 2. ग्रहों के गतिकीय परासितक	...	13
सा. 3. भिन्न ऊँचाइयों पर प्रथम व द्वितीय अंतरिक्षी वेग	...	14
सा. 4. भिन्न ऊँचाइयों पर कुदिस उपग्रहों द्वारा पृथ्वी की परिक्रमा का आवर्तकाल	...	14

## B प्रवेगिकी

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	14
1. प्रवेगिकी के नियम	...	15
2. घूर्णन-गति की प्रवेगिकी	...	19
3. गुरुत्वाकर्षण का नियम	...	22
4. घर्षण-बल	...	24
5. द्रव्य का घनत्व	...	26
6. कार्य, शक्ति, ऊर्जा	...	26
सारणी	...	30
मा. 5. ठोस पिंडों के घनत्व	...	30
मा. 6. द्रवों के घनत्व	...	32
मा. 7. द्रव-अवस्था में धातुओं के घनत्व	...	32
मा. 8. भिन्न तापक्रमों पर जल तथा पारा के घनत्व	...	33
मा. 9. गैसों व वाष्पों के घनत्व	...	33
मा. 10. उपादानों के आयतनी घनत्व	...	34
मा. 11. समान्ति पिंडों के जड़त्वाघूर्ण	...	35
मा. 12. भिन्न द्रवों के परस्पर फिसलने में घर्षण-गुणांक	...	36
मा. 13. मायूर-स्तर पर भिन्न अधाशों के लिए पार्थिव गुरुत्वाकर्षण-क्षेत्र की तीव्रता (स्वतन्त्र अभिमान के त्वरण) के मान	...	37
मा. 14. ग्रहों के प्रवेगिक लक्षण	...	37

## C. ठोस पिंडों की स्थैतिकी

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	38
मा. 15. समरूप पिंडों के गुरुत्व-केन्द्र	...	43

## D. प्रत्यास्थता-सिद्धांत के तत्त्व

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	44
सारणी और ग्राफ	...	48
मा. 16. चन्द्र द्रव्यों की दृढ़ता-सीमाएँ	...	48
मा. 17. प्रत्यास्थता के मापांक व पुनःसोत का गुणांक	...	49

मा. 18. द्रव व ठोस पिंडों की संपीड्यता	...	51
तापक्रम पर दृढ़ता-सीमा और युग्म-मापांक की निर्भरता	...	52

## E. तरल पिंडों की यांत्रिकी

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	52
1. स्थैतिकी	...	53
2. प्रवेगिकी	...	53
सारणी	...	56
मा. 19. द्रवों की श्यानता	...	56
मा. 20. गैसों की श्यानता	...	56
मा. 21. भिन्न दाबों पर गैसों की श्यानता	...	57
मा. 22. भिन्न तापक्रमों पर पानी की श्यानता	...	57
मा. 23. भिन्न तापक्रमों पर द्रवों की श्यानता	...	57
मा. 24. द्रव-अवस्था में धातुओं की श्यानता	...	58

## अध्याय 2

## ताप और आण्विक भौतिकी

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	59
1. ताप-प्रवेगिकी के मूल नियम — तापमाहिता	...	59
2. प्रावस्था-संक्रमण	...	62
3. ठोस व द्रव पिंडों में तापीय प्रसार	...	66
4. तापचालन, विसरण, श्यानता	...	67
5. द्रवों का तलीय तनाव	...	69
6. गैसीय नियम	...	70
7. गैसों के गतिकीय सिद्धांत के मूल तत्त्व	...	73
सारणी और ग्राफ	...	78
मा. 25. अंतर्राष्ट्रीय व्यावहारिक तापकक्षी पैमाना '68	...	78
मा. 26. चंद्र पदार्थों के लिये तापमाहिता, द्रवणांक, द्रवण-ताप, क्वथनांक, वाष्पोत्कण का ताप	...	78

सा. 27. द्रवण के द्रवस्थान पदार्थ के आयतन में सापेक्षिक परिवर्तन	...	80
सा. 28. अग्नि-मह पदार्थों के द्रवणांक, पानी की तापसाहिता	...	80
सा. 29. अल्प तापक्रमों पर ठोस पदार्थों की तापसाहिताएं	...	81
सा. 30. भिन्न तापक्रमों व दाबों पर द्रव एथिल अल्कोहल की तापसाहिता	...	81
सा. 31. सामान्य दाब पर गैसों की विशिष्ट तापसाहिता	...	82
सा. 32. वाष्पीकरण का ताप	...	83
पानी का स्वथनांक	...	83
सा. 33. भिन्न तापक्रमों पर वाष्पीकरण का ताप	...	84
सा. 34. भिन्न तापक्रमों पर कार्बन-डाइक्साइड के वाष्पीकरण का ताप	...	84
सा. 35. द्रवीभूत गैसों के लिये त्रिगुण-बिंदु पर द्रवणांक, द्रवण का मोलीय ताप, स्वथनांक (सामान्य दाब पर) तथा वाष्पीकरण का ताप	...	85
सा. 36. सामान्य दाब पर साधारण तमक के भिन्न सांद्रताओं वाले जलीय घोलों के घनत्व, जमनांक और स्वथनांक	...	85
सा. 37. सामान्य दाब पर लवणों के जलीय घोलों के महत्तम स्वथनांक	...	86
सा. 38. साधारण व भारी जल के गुण	...	86
सा. 39. चरम परासितक	...	87
सा. 40. त्रिगुण बिंदुओं के लिये तापक्रम व दाब	...	87
सा. 41. संतृप्त जलवाष्प के गुण	...	88
सा. 42. द्रवों का आयतनी प्रसार-गुणक	...	89
सा. 43. ठोस पदार्थों के रेखिक प्रसार-गुणक	...	90
सा. 44. भिन्न तापक्रमों पर रेखिक प्रसार-गुणक	...	91
सा. 45. द्रवों का तलीय तनाव	...	91
सा. 46. भिन्न तापक्रमों पर पानी और एथिल अल्कोहल के तलीय तनाव	...	92
सा. 47. द्रवावस्था में धातुओं का तलीय तनाव	...	92
सा. 48. पदार्थों के तापचालकता गुणांक	...	93

सा. 49. भिन्न तापक्रमों पर ऐस्बेस्टस और फेनिल (झांवा) कंक्रीट की तापचालकता	...	94
सा. 50. भिन्न तापक्रमों पर द्रवों की तापचालकता	...	95
सा. 51. मानक दाब पर गैसों की तापचालकता	...	95
सा. 52. गैसों के दाब का तापक्रम-गुणांक (आयतनी प्रसार-गुणक)	...	95
सा. 53. मानक वातावरण	...	96
सा. 54. हवा में गैसों व वाष्पों का विसरण-गुणांक	...	96
सा. 55. जलीय घोलों का विसरण-गुणांक	...	97
सा. 56. ठोस पदार्थों में विसरण और स्वाविसरण के गुणांक	...	99
सा. 57. अणुओं के गैस-गतिक व्यास	...	99
सा. 58. ईंधनों के दहन का विशिष्ट ताप	...	100
सा. 59. वात डेर वाल्स का स्थिरांक	...	101
सा. 60. हवा की सापेक्षिक आर्द्रता की गणितमापीय सारणी	...	102

## अध्याय 3

## यांत्रिक दोलन और तरंगें

गुण अवधारणाएं और नियम	...	103
1. संनादी दोलन	...	103
2. दोलक	...	106
3. स्वतंत्र और बाध्य दोलन	...	107
4. संनादी दोलनों का संयोजन	...	109
5. तरंग	...	110
6. गथावर तरंग	...	115
7. ध्वनि	...	116
सांख्यिकी और घटक	...	118
सा. 61. शुद्ध द्रवों और तेलों में ध्वनि-वेग	...	118
सा. 62. ठोस पदार्थों में ध्वनि-वेग	...	119
सा. 63. भिन्न गहराइयों पर जमीन के गुण और भूकंपी तरंगों का वेग	...	120



सा. 64. सामान्य दाब पर गैसों में ध्वनि-वेग.	...	120
हवा और वाष्पराजन में ध्वनि-वेग	...	121
सा. 65. यांत्रिक तरंगों का पैमाना	...	121
सा. 66. ध्वनि-तीव्रता और ध्वनि-दाब.	...	122
पानी की सतह पर तरंगों का वेग.	...	123
श्वेत गवदना के लिये ध्वनि-वर्जिता के स्तर	...	123
सा. 67. भिन्न माध्यमों के विभाजक तल पर लंब रूप से आपतित ध्वनि-तरंगों का परावर्तन-गुणांक (% में)	...	124
सा. 68. हवा में ध्वनि-अवशोषण का गुणांक	...	125
सा. 69. द्रव्यों की ध्वनि-अवशोषक क्षमता	...	125
सा. 70. द्रवों में ध्वनि का अवशोषण	...	126
सा. 71. समुद्री पानी में ध्वनि-तरंगों के अवशोषण का गुणांक	...	126

## अध्याय 4

### विद्युत

#### A. वैद्युत क्षेत्र

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	127
माग्नी और ग्राफ	...	136
सा. 72. पार्थिव वातावरण में वैद्युत क्षेत्र	...	136
सा. 73. विद्युत-पृथक्कारी द्रव्य	...	137
सा. 74. शुद्ध द्रवों की पारवैद्युत वेधिता	...	138
सा. 75. गैसों की पारवैद्युत वेधिता	...	139
सा. 76. सेमेटोवैद्युत क्रिस्टलों के गुण.	...	139
सेमेट लवण और बेरियम टिटानेट की पारवैद्युत वेधिता	...	140
सा. 77. क्रिस्टलों के दाब-वैद्युत मोडुल	...	141

#### B. स्थिर विद्युत-धारा

मूल अवधारणाएँ और नियम	...	141
1. धातुओं में धारा	...	141
2. विद्युविश्लेषकों में धारा	...	147

3. गैसों में विद्युत-धारा	...	150
4. अर्धचालक	...	152
5. ताप-विद्युत	...	154
माग्नी और ग्राफ	...	155
पार्थिव वातावरण में वैद्युत धारा	...	155
वातावरण में एलेक्ट्रॉनों की सांद्रता	...	156
सा. 78. धातुओं का विनिष्ट प्रतिरोध और प्रतिरोध का तापक्रमी गुणांक	...	156
सा. 79. धातुओं और मिश्र धातुओं के अर्धचालक की अवस्था से संक्रमण के लिये आवश्यक तापक्रम	...	157
सा. 80. उच्च (मार्किश) प्रतिरोध वाले मिश्र धातु	...	158
सा. 81. पृथक्कृत चालक में दीर्घकालीन कार्य के लिये अनुमत धारा-घन	...	158
सा. 82. कृत्रिम वायर.	...	159
जलीय घोलों की विद्युच्चालकता	...	159
सा. 83. भिन्न सांद्रता वाले विद्युविश्लेषकों की प्रतिरोधिता	...	160
सा. 84. चंद धातु-युग्मों के तापीय विवाह	...	161
सा. 85. प्लैटिनम के सापेक्ष अंतराधारी तापीय विवाह	...	161
नाम-वर्मस्टेन युग्म का अंतराधारी तापीय विवाह	...	162
सा. 86. विद्युतसायनिक तुल्यांक	...	162
सा. 87. धातुओं के मानक विभव.	...	162
संचायकों का आवेशन और निरावेशन	...	163
सा. 88. गैल्वैनिक सेलों के विवाह	...	164
सा. 89. जलीय घोलों में आयनों की चंचलता	...	165
सा. 90. धातुओं में एलेक्ट्रॉनों की चंचलता	...	165
सा. 91. गैसों में आयनों की चंचलता	...	166
सा. 92. आयनन में मापन कार्य (आयनन का विश्व)	...	166
सा. 93. धातुओं व अर्धचालकों के उत्सर्जन-स्थिरांक	...	167
सा. 94. धातु पर झिल्लियों के उत्सर्जन-स्थिरांक	...	168
सा. 95. आक्साइड-अस्तर वाले कंधों के उत्सर्जन-स्थिरांक	...	168

सा. 96. अपेक्षाओं के गुण...	169
अभिनय व विनियम का विनिष्ट प्रतिरोध...	170
अपेक्षा विज्ञान के बीच सड़क-वोल्टता...	171
सा. 97. हवा में स्फुटिकाकाण...	172

### C. चुंबकीय क्षेत्र, विद्युचुंबकीय प्रेरण

मूल अवधारणाएँ और नियम	172
1. चुंबकीय प्रेरण, धाराओं की व्यतिक्रिया, चुंबकीय आवृण	172
2. गतिशील आवेशों की व्यतिक्रिया	176
3. निर्वात में चुंबकीय क्षेत्र	178
4. चुंबकीय क्षेत्र में धारायुक्त चालक के स्थानांतरण से सम्पन्न कार्य, विद्युचुंबकीय प्रेरण	180
5. स्वप्रेरण	181
6. द्रव्य में चुंबकीय क्षेत्र	183
सारणी और ग्राफ	187
पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र	187
सा. 98. विद्युतकनीक में प्रयुक्त इस्पातों के गुण	188
सा. 99. लोहा-निकेल धातु मिश्र के गुण	188
सा. 100. ठोस चुंबिक द्रव्यों के गुण	189
सा. 101. चुंबकीय पारविक्तों के गुण	189
सा. 102. फेराइटों के मुख्य गुण	190
सा. 103. पराचुंबिकों व पारचुंबिकों की चुंबकीय वेधिता	190
सा. 104. धातुओं का ब्यूरी-तापक्रम	191
सा. 105. धातुओं तथा अर्धचालकों की चुंबकीय प्रवणता, लोह चुंबिकों की चुंबकीय वेधिता, प्रेरण, चिरावन और विस्मरण	191
सा. 106. लोहचुंबिक और फेराइट में प्रेरण व चिरावन हानि	193
सा. 107. प्रेरिता का कलन करने के लिये गुणांक k के मान	194

### D. बंदित दोलन और विद्युचुंबकीय तरंग

मूल अवधारणाएँ और नियम	195
1. परिवर्ती धारा	195
2. दोलक आकृति	200
3. विद्युचुंबकीय क्षेत्र	200
4. विद्युचुंबकीय तरंगों का उत्सर्जन	203
सारणी और ग्राफ	204
स्थिर व परिवर्ती धाराओं के लिये प्रतिरोध	204
आवृत्ति पर प्रेरण, धारक व पूर्ण प्रतिरोधों की निर्भरता	205
शृंखल अनुनादी आकृति में आवृत्ति पर धारा-वोल्ट की निर्भरता	206
सा. 108. तारों के तार में उच्च आवृत्ति वाली धारा की वेधता-गहनता	206
सा. 109. विद्युचुंबकीय विकिरण का पैमाना	207

## अध्याय 5

### प्रकाशिकी

मूल अवधारणाएँ और नियम	210
1. ऊर्जा और प्रकाशीय राशियाँ, प्रकाशमिति	210
2. व्यापक प्रकाशिकी के मूल नियम	213
3. लेंस, प्रकाशिक उपकरण	215
4. प्रकाश के तरंगी गुण	219
5. प्रकाश के क्वांटमी गुण	227
6. स्पेक्ट्रमों के प्रकार	229
7. तापीय विकिरण	230
सारणी और ग्राफ	233
सा. 110. दिन के प्रकाश की सापेक्षिक दृश्यमानता	233
सा. 111. प्रकाशित सतहों की चमक	234
सा. 112. प्रकाश-स्रोतों की चमक	234
सा. 113. सामान्य स्थितियों में प्रकाशिता	235



सा 114.	बिना आपतन-कोणों पर कब व पानी के परावर्तन गुणोंक	...	235
सा 115.	कांच से हवा में प्रविष्ट होने वक्त प्रकाश का परावर्तन	...	236
सा 116.	अर्धचित्रित प्रकाश का परावर्तन गुणोंक	...	236
सा 117.	स्पेक्ट्रम के दृश्य भाग में तरंग-लम्बाइया	...	237
सा 118.	स्पेक्ट्रम के परावर्गनी भाग में तरंगों की लम्बाइयां	...	237
सा 119.	धातुओं द्वारा प्रकाश का परावर्तन	...	237
सा 120.	पूर्ण परावर्तन के लिये चरम कोण	...	238
सा 121.	मुख्य फाउन्टोफोर-रेखाओं की तरंग-लम्बाइया	...	238
सा 122.	चंद्र फाउन्टोफोर-रेखाओं के अनुरूप वाली तरंग-लम्बाइयों के अपवर्तनांक	...	238
सा 123.	कुछ तैयों के अपवर्तनांक	...	239
सा 124.	चंद्र ठोस व द्रव पदार्थों के अपवर्तनांक	...	239
सा 125.	तरंग-लम्बाई पर अपवर्तनांक की निर्भरता	...	240
सा 126.	इलेन प्रकाश में द्रवों द्वारा विभक्तित परावर्तन	...	242
सा 127.	केर-स्थिरांक और कीटन-मुटन स्थिरांक	...	242
सा 128.	पूर्णत का विशिष्ट स्थिरांक	...	243
सा 129.	पूर्णत विवरण	...	243
सा 130.	धातुओं और तैयों का विस्मरण-स्पेक्ट्रम	...	244
सा 131.	कुछ प्रकाश-स्रोतों की प्रकाशदायकता, कार्य-क्षमता, चमक	...	245
सा 132.	फ्लेक्ट्रोन-निष्कासन में सम्पन्न कार्य और फोटो-प्रभाव की लाल सीमा	...	245

## अध्याय 6

### परमाणु की संरचना और प्राथमिक कण

पुनः अवधारणा और नियम	...	246
1. परमाणुकी भौतिकी में आवेश, द्रव्यमान और ऊर्जा की इकाइया	...	246
2. स्ट्रोकड-बोर का परमाणुकी प्रतिमान	...	247

3. बहु-फ्लेक्ट्रॉनी परमाणुओं में फ्लेक्ट्रॉनी अन्ध	...	249
4. परमाणु का नाभिक	...	251
5. नाभिकीय स्पांतरण	...	253
6. कणों के तरंगी गुण	...	255
7. द्रव्य के साथ नाभिकीय विकिरण की व्यतिक्रिया	...	256
8. रश्मि-सक्रियता और आयतन विकिरण की इकाइया	...	258
9. प्राथमिक कणों का वर्गीकरण	...	259
10. कणों का स्पांतरण	...	260
मायणी और ग्राफ	...	261
हाइड्रोजन परमाणु के ऊर्जीय स्तर	...	261
सा 132. परमाणु-अणुओं की परतों की भरना	...	263
संवेदीय प्रदत्त रसायनिक तत्वों की आवर्त सारणी	...	264
सा 133. वाह्य अणुओं में फ्लेक्ट्रॉनों का वितरण	...	266
सा 134. कुछ तत्वों के लवक एकसरे-स्पेक्ट्रम की मुख्य रेखाएं	...	267
सा 135. हल्के समर्थों का सापेक्षिक परमाणुकी द्रव्यमान प्रतिजनित मात्रा और सक्रियता	...	268
सा 136. कुछ रश्मिसक्रिय समर्थों के लेखन	...	269
सा 137. कुछ कृत्रिम तत्व	...	270
सा 138. प्राथमिक कण	...	271
सा 139. नाभिकों के कोणिक आघूर्ण और चुंबकीय आघूर्ण	...	272
सा 140. भिन्न तरंग-लम्बाइयों की एकस-किरणों के अवशोषण का द्रव्यमान-गुणांक	...	273
सा 141. विकिरण-स्रोत और प्राथमिक कणों का पना लगाने वाले उपकरण	...	273
सा 142. अनुमीनियम में फ्लेक्ट्रॉनों के अवशोषण का द्रव्यमान-गुणांक	...	274
सा 143. न्यूट्रॉनों के कारगर अनुप्रस्थ काट	...	275
सा 144. विकिरण की महत्तम अनुप्रस्थ खराक	...	276
सा 145. अल्फा कणों का हवा, जैव उत्तकों व अनुमीनियम में पथ	...	276

सोरो और अनुसोतियस में गामा-किरणों के पूर्ण अवशोषण के घटक	... 277
नाभिक में नुक्लॉन की विशिष्ट अनुबंधक ऊर्जा	... 277
नाभिकीय प्रतिक्रियाओं के उदाहरण	... 278
नाभिकों का विभाजन	... 279
नाभिकों का संश्लेषण	... 280

## परिशिष्ट

I. अक्सर प्रयुक्त संख्याएँ	... 281
II. समीपवर्ती कल्पनों के लिये सूत्र	... 281
III. लुटि-सिद्धांत के मूल-तत्त्व	... 281
IV. इकाइयों के दशमलव अपवर्त्य और उपवर्त्य बनाने के लिये गुणक (उपसर्ग)	... 283
V. भिन्न प्रणालियों की इकाइयों में संबंध	... 283
VI. भौतिक स्थिरांक	... 286
VII. अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली और गौस-प्रणाली की इकाइयों की तुलनात्मक सारणी	... 287
VIII. विद्युत्प्रवेगिकी के मुख्य समीकरण — अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली और गौस की प्रणाली में	... 289
अनुक्रमिका	... 293

## प्राक्कथन

निर्देशिका में सरल भौतिकी की सभी शाखाएँ निहित हैं। प्रत्येक अध्याय (या अध्याय का अनुच्छेद) दो भागों में बँटा है। पहले भाग में मूल अवधारणाओं और नियमों का संक्षिप्त विवरण है; दूसरे भाग में सूचनार्थ सारणियाँ व ग्राफ दिये गये हैं।

प्रथम भाग में वर्णित मैथ्यातिक सूचनाएँ पूर्णता का दावा नहीं करती। यहाँ सिर्फ मूल अवधारणाओं की परिभाषाएँ दी गयी हैं, नियमों का संक्षेप में उल्लेख किया गया है; कभी-कभी समझाने के लिये कुछ उदाहरण प्रस्तुत किये गये हैं। इसीलिये इस पुस्तक को भौतिकी की पाठ्यपुस्तक का पर्याय नहीं माना जा सकता।

निर्देशिका की सारणियाँ और उसके ग्राफ भी भौतिकी के किसी क्षेत्र में संबंधित सारी सूचनाएँ नहीं दे सकते; सिर्फ उन्हीं सूचनाओं का महत्व दिया गया है, जिनकी औद्योगिकी और कृषि-विज्ञान के विशेषज्ञों की आये-दिन आवश्यकता पड़ती रहती है। उन सूचनाओं के संकलन पर भी विशेष ध्यान दिया गया है, जो भौतिकी के आधुनिकतम क्षेत्रों (अधेचालकों, समेटोविज्ञान, नाभिकीय भौतिकी आदि) के साथ संबंध रखती हैं।

निर्देशिका में अंतर्राष्ट्रीय इकाई-प्रणाली को मान्यता दी गयी है। परिशिष्ट में अन्य इकाइयों के साथ उसके संबंध भी दिये गये हैं।

रूसी में पुस्तक के अब तक नौ संस्करण हो चुके हैं। प्रथम संस्करण (1960) के बाद से यह निरंतर संशोधित और परिवर्धित होती रही है।

हिंदी संस्करण में एक नया अनुच्छेद "स्थायर तरंग" जोड़ा गया है।

नि. ड. कोणकिन

मि. शि. शिकोविच

## निर्देशिका के उपयोगकर्ताओं के लिये चंद सूचनाएं

सारणियों में पदार्थों के नाम अधिस्तरीय श्रेणीयता में अंतरादि क्रम में दिये गये हैं। चंद सारणियों में सारणियों के सांख्यिक मान के बहुत या बहुत के रूप के अनुसार बनाये गयी हैं।

सारणियों के सांख्यिक मान दशमलव के दो स्थान अंकों पर गणित की गणना है, अधिकतर तकनीकी कलनों के लिये यह पर्याप्त रहता है।

सारणियों में दशमलव अंकों की संख्याएं समान नहीं हैं। उदाहरण के लिये यह है कि कुछ पदार्थ शुद्ध रूप में प्राप्त हो सकते हैं और 100 में गणित में गोपनीय रह जाते हैं। उदाहरणार्थ, प्लैटिनम का घनत्व 21.46 ग्राम प्रति सेंटीमीटर (21.46) की शुद्धता में दिया गया है पर पीतल का (गणित) सांख्यिक मान की शुद्धता में (8.4-8.7), क्योंकि इसका घनत्व इन सीमाओं में कम हो सकता है; यह पीतल के दिये हुए प्रकार पर निर्भर करता है।

सर्वोच्च सारणी या पाफ में 10<sup>9</sup> जैसा कोई गुणक नहीं है, क्योंकि यह सारणियों के लक्ष्य स्तर में सारणी का मान दर्शाता है, जो 10<sup>9</sup> से कम है।

उदाहरणार्थ, सारणी 14 के तीसरे स्तंभ में गुणक 10<sup>6</sup> है, इस सारणी में पक्ति में संख्या 696 दी गयी है, इसका अर्थ है कि संख्या की संख्या 696 10<sup>6</sup> m है।

सारणियों की टिप्पणियों में वे परिस्थितियां बतायी गयी हैं जिनमें सारणियों के सांख्यिक मान प्रयुक्त हो सकते हैं (यदि सारणी के शीर्षक में यह पता नहीं है)। टिप्पणियों में सारणी का उपयोग करने के लिये अनिवार्य सूचनाओं के साथ-साथ अनेक अन्य प्रकार की सूचनाएं भी दी गयी हैं।

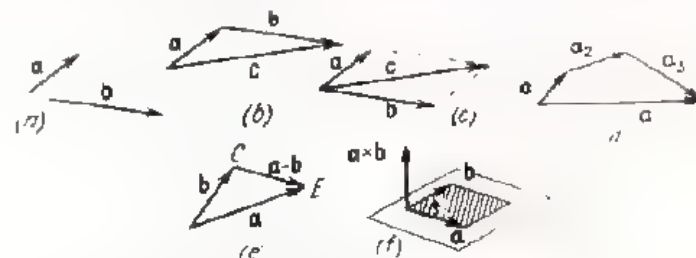


## अदिश और सदिश

भौतिकी में अदृष्ट व सद्रष्ट गणियों को उपयोग होता है। अदृष्ट गणियाँ (अदिश) मात्र सांख्यिक मानों से निर्धारित होती हैं। परन्तु भौतिक गणियाँ हैं जिन्हें निर्धारित करने के लिये सांख्यिक मान के साथ वास्तविक ज्ञान की भी आवश्यकता होती है। इनमें सद्रष्ट या सद्रष्ट गणियाँ कहते हैं। सद्रष्ट के सांख्यिक मान का मापक या परम मान कहते हैं। (सद्रष्ट के मापक को  $\mu$  या सिर्फ  $\mu$  से दर्शाते हैं)। अनु )

मरिच का ज्यामितीय घातन रेखा-खंड द्वारा होता है जिसका एक सिरे पर तीर का चिह्न बना होता है। रेखा-खंड की लंबाई (निम्न 1.1.1 अनुसार) मरिच के मापांक के बराबर होती है और तीर का दिशा निर्देश देती दिशा बताती है। दो मरिच तभी बराबर माने जाते हैं जब उनकी लंबाई बराबर हो और उनकी दिशा समान होती है।

सदिशों **a** व **b** (चित्र 1a) का सयोजन<sup>1</sup> दो विधियाँ म प्रायः हो सकती है। प्रथम विधि (चित्र 1b) : प्रत्येक सदिश को अपने आप के समानांतर इस प्रकार स्थानान्तरित करने है कि एक का अंत (मिर) दूसरे के



जिन १. मदिजों के साथ क्रियाएँ - २ - मदिजों का वाकिक निरूपण  
 ३ - मदिजों का साथ ४ - मदिजों का अवयवों में विभक्तन  
 ५ - मदिजों का व्यवहार ६ - मदिजों का सन्दर्भ

। सागफल, जिसे परिणामी सदृश भी कहते हैं । अन

राशि (उभय राशि) के साथ मिल जाता है, इस स्थिति में प्रथम सदिश  $a$  आरम्भ में दूसरे के अन्तर्गत खींचा गया सदिश दिय गये सदिशों का समानांतर (चित्र 1c में  $c$ ) होता है। इस प्रक्रिया का सविशेष संचालन है।

दूसरी विधि (चित्र 1c) :  $a$  व  $b$  सदिशों में से प्रत्येक को अपने-आप  $c$  समानांतर इस प्रकार स्थानान्तरित किया जाता है कि उनके आरम्भ किसी एक बिंदु पर मिल जाते हैं। इस स्थिति में सदिशों का योगफल उन पर खींचे गये समानांतर चतुर्भुज का कर्ण (चित्र 1c में  $c$ ) होता है। इसीलिए कहते हैं कि सदिश समानांतर चतुर्भुज के नियम से जोड़े जाते हैं।

किमी भी सदिश  $a$  का  $a_1, a_2$  आदि घटकों (अवयवों) में बाँटा जा सकता है (चित्र 1d)। जब सदिश के स्थान पर कई योग्य सदिशों का उपयोग सदिश का विघटन कहलाता है। उदाहरण चित्र 1d में सदिश  $a$  के घटक  $a_1, a_2, a_3$  हैं।

राशि में धन अविष्ट राशि से गुणा करने पर उसकी दिशा वहीं रहती है सिर्फ उसका मापक दूसरा हो जाता है। सदिश में ऋण अविष्ट राशि से गुणा करने पर उसकी दिशा विपरीत हो जाती है। दोनों ही स्थितियाँ में  $a$  का प्राप्त सदिश का मापक दिय गये सदिश के मापक और दी गयी अदिश राशि के गुणन के बराबर होता है।

दो सदिशों का अंतर ( $a - b$ ) पर्याय तन्त्र  $a$  व सदिश  $b$  की दिशा विपरीत करके उसे न्यूनकन्य सदिश  $a$  में जोड़ने में प्राप्त होता है। चित्र 1e में राशि  $a$  व  $b$  का अंतर है सदिश  $c$ ।

दो सदिशों  $a$  व  $b$  का अविष्ट गुणन उनके मापकों,  $a$  व  $b$  और उनके बीच के कोण की ज्या के गुणन के बराबर होता है अर्थात्  $a \cdot b = ab \cos(\theta)$ । सदिशों  $a$  व  $b$  का अविष्ट गुणन  $a$  व  $b$  के बीच के कोण में निर्धारित होता है। इस अविष्ट गुणन का उपयोग होता है।

दो सदिशों  $a$  व  $b$  का सविष्ट गुणन सदिश  $c$  को कहते हैं। इसकी दिशा  $a$  व  $b$  के समानांतर पर लंब होता है और इसका मापक  $a$  व  $b$  के मापकों और उनके बीच के कोण की ज्या के गुणनफल के बराबर होता है अर्थात्  $a \times b = ab \sin(\theta)$ ।

यह गुणन चित्र 1f में दिखाया गया है (इसे कभी-कभी  $a \times b$  से भी चर्चित किया जाता है)।

सदिश  $c$  की दिशा दक्षिण पंच के नियम से निर्धारित करते हैं (यह साधारण पंच है जिसे कसने के लिये उस घड़ी की सूई की दिशा में दाहिनी ओर घुमाते हैं) :  $a$  से  $b$  की ओर उनके बीच के छोटे कोण पर घुमाने की दिशा में पंच को घूर्णन देने पर उसके आगे बढ़ने की दिशा सदिश  $[a \times b]$  की दिशा बताती है। विपरीत दिशा में घूर्णन देने पर पंच के पीछे हटने की दिशा सदिश  $[b \times a]$  की दिशा बताती है।

इकाई सदिश ऐसे सदिश को कहते हैं, जिसका मापक इकाई के बराबर होता है। किमी भी सदिश को उसके मापक व इकाई सदिश के गुणन के रूप में व्यक्त किया जा सकता है, अर्थात्  $b = |b| b_0$ , जहाँ  $b_0$  इकाई सदिश है, इसकी विषयता नहीं होती और इसकी दिशा  $b$  की दिशा जैसी होती है।

## इकाइयों की प्रणालियाँ

किमी भौतिक राशि को मापने का अर्थ है किमी दूसरी भौतिक राशि के साथ उसकी तुलना करना जिसे इकाई मान लिया गया है। मापी जाने वाली राशि और उसको इकाई को सजातीय होना चाहिये। सजातीय राशि या  $a$  के एक ही गुण को निर्धारित करती हैं। उनमें अंतर सिर्फ सांख्यिक होता है।

भौतिक राशि की इकाई—यह भौतिक राशि की वह मात्रा है, जिस परिभाषा में एक (इकाई) के बराबर मान लिया गया है। इकाईयाँ दो प्रकार की होती हैं मूल व व्युत्पन्न।

मूल इकाइयों की मात्रा का चयन दूसरी राशि या की इकाई-मात्राओं पर निर्भर नहीं करता, व्युत्पन्न इकाई विचाराधीन राशि के साथ अन्य राशियों के संबंध द्वारा निर्धारित होती है। आपस में नियत संबंध रखने वाली मूल व व्युत्पन्न इकाइयों के समूह को इकाइयों की प्रणाली कहते हैं।

आधुनिक भौतिकी में इकाइयों की अंतर्राष्ट्रीय प्रणाली (अ. प्र.) का प्रयोग होता है, पर अन्य प्रणालियों की भी कुछ इकाईयाँ इसमें प्रचलित हैं।

I. १ में गति और इकाइयाँ का उपयोग होता है। शीटर (11)  
 (141-11 241)2, किलोग्राम (kg) — द्रव्यमान की इकाई, सेकंड (s) —  
 समय की इकाई, ऐम्पियर (A) — विद्युत-धारा की तीव्रता की इकाई  
 केल्विन (K) — तापक्रम की इकाई, मोल (mole) — द्रव्य का मात्रा की  
 इकाई कैंडला (cd) — प्रकाश-तीव्रता की इकाई। मीटर निबान में फ्रिक्टन-  
 86 के परमाणु द्वारा उत्सर्जित तरंग की 1 650 763 73 लंबाई के बराबर  
 होता है। यह तरंग लम्बी वर्ण या S d व 2 p स्तरों के बीच संक्रमण  
 (देखें पृ. 262) के अनुरूप होती है। किलोग्राम इस इकाई के अन्तर्गत्रीय  
 मानक बाट का द्रव्यमान है। सेकंड मोनोब्रियम-133 के परमाणु द्वारा विकिरण  
 के 9 192 631 770 आवर्त-काला का समय है, यह विकिरण दो अतिमृक्ष  
 स्तरों की स्पेक्ट्रमी रेखा (तरंग लंबाई 3 26 cm) के अनुरूप होता है।

अन्य मूल इकाइयों की परिभाषाएँ पुस्तक में यथास्थान दी गयी हैं।  
 ऐम्पियर की पृ. 179 पर केल्विन की—पृ. 60 पर कैंडला की—पृ. 211  
 पर और माल की पृ. 109 पर।

## यांत्रिकी

यांत्रिक गति अन्य पिंडों के सापेक्ष किसी पिंड की स्थिति में समय के  
 अनुसार होने वाले परिवर्तन को कहते हैं। समय के किसी नियत क्षण पर  
 व्यास में पिंड की स्थिति किसी सापेक्ष के सापेक्ष निर्धारित की जाती है।  
 सापेक्ष किसी ऐसे पिंड को कहते हैं जिसके साथ दिशा बनाने वाले अंको का  
 पृष्ठ (दिशांक व्यूह) और समकालिक घड़ियाँ की कतार जुड़ी होती है।

### A. गतिकी

#### मूल अवधारणाएँ और नियम

गतिकी पिंडों की गति (यांत्रिक गति) का अध्ययन करती है, पर इस  
 गति के कारणों की खोज और नहीं करती।

सरलतम गतिमान पिंड भौतिक बिंदु (या कण) होता है। कण ऐसे पिंड  
 का कहते हैं जिसकी गति को निरूपित करते वक्त उसका आकार की उपेक्षा  
 की जा सके। उदाहरणार्थ सूर्य के गिर्द पृथ्वी की वार्षिक गति को कण की  
 गति के रूप में देख सकते हैं, पर पृथ्वी के अक्ष के गिर्द उसकी दैनिक  
 गति-गतिकी को कण की गति मानना असम्भव है।

किसी भी ठोस पिंड को आपस में मजबूती से जुड़े हुए अनेक कणों का  
 एक माना जा सकता है।

गतिमान कण द्वारा निरूपित रेखा को पथ (या गतिपथ) कहते हैं।

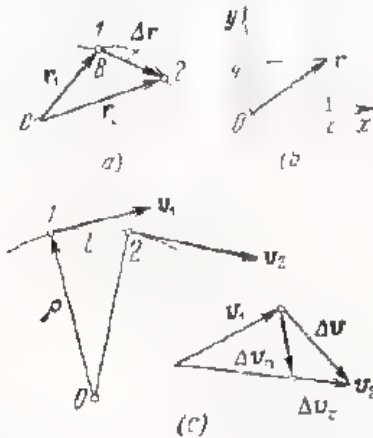
सुचारु गति ऋजु हो सकती है (जब पथ सीधा या ऋजु होता है)  
 या वक्र हो सकती है (जब पथ वक्र होता है)। अपनी प्रकृति के अनुसार  
 गति समरूप या परिवर्ती (सुन, समपरिवर्ती या विषमपरिवर्ती) हो



### 1. स्थानांतरण, वेग, त्वरण

गति का सरलतम रूप समरूप गति है। समरूप गति में पृष्ठ समय के समान अंतरालों में समान दूरियाँ तय करता है। विपरीत स्थिति में गति परिवर्तित कहलाती है। समरूप गति का वेग ( $v$ ) इकाई समय ( $t$ ) में तय किया गया पथ की लंबाई ( $s$ ) को कहते हैं:  $v = s/t$ । कण की गति निरूपित करने की तीन विधियाँ हैं।

**प्रथम विधि.** बिंदु  $B$  की स्थिति किसी अचल बिंदु  $O$  से खींचे गये विज्य सदिश  $r_1$  द्वारा निर्धारित की जाती है (चित्र 2a)। गति के कारण



चित्र 2. किसी कण का स्थिति निर्धारित करने की तीन विधियाँ  
a - सदिश विधि b - दिशा-दिश विधि c - पथ के अनुसार।

समय के अंतराल  $\Delta t$  में बिंदु  $B$  स्थिति 1 से स्थिति 2 पर स्थानांतरित हो जाता है। नयी स्थिति में बिंदु का विज्य सदिश  $r_2$  हो जाता है। सदिशों के अंतर  $r_2 - r_1 = \Delta r$  को स्थानांतरण कहते हैं और  $\Delta r / \Delta t$  को औसत वेग कहते हैं।

समय के दिये गये क्षण से वेग (या क्षणिक वेग) की परिभाषा निम्न है:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = v \quad (1.1)$$

वेग एक सदिश राशि है।<sup>1</sup> वेग की इकाई है—मीटर प्रति सेकंड (m/s), सेंटीमीटर प्रति सेकंड (cm/s), किलोमीटर प्रति घंटे (km/h)।

गतिमान कण का त्वरण

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = a \quad (1.2)$$

कहलाता है, जहाँ  $\Delta v$  समय के अंतराल  $\Delta t$  के दरम्यान होत वाला वेग-परिवर्तन है। त्वरण का सदिश वेग के गतिश में होत वाला परिवर्तन को निर्धारित करता है।

त्वरण की इकाई मीटर प्रति वर्ग सेकंड ( $m/s^2$ ) है।

यदि कण की गति के दौरान उसका त्वरण स्थिर रहता है ( $a = \text{const}$ ), तो ऐसी गति को समपरिवर्ती कहते हैं और इस स्थिति में

$$v = v_0 + at \quad (1.3)$$

$$r = r_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1.4)$$

हैं, जहाँ  $v_0$  व  $r_0$  समय के आरंभिक क्षण ( $t=0$ ) में क्रमशः वेग व विज्य सदिश हैं। समपरिवर्ती गति में कण का पथ ऋजु रेखीय होता है, यदि  $v_0 \parallel a$ । इस स्थिति में समीकरण (1.3) व (1.4) को अदिश रूप में लिखा जा सकता है।

$$v = v_0 + at \quad r = r_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1.5)$$

यदि  $t$  समय के  $t$  क्षण पर वेग हैं  $v_0$  समय के आरंभिक क्षण ( $t=0$ ) पर। यदि  $s$ —समय  $t$  में तय किया गया पथ है।

त्वरण धनात्मक हो सकता है (त्वरित गति) या ऋणात्मक (मंदित गति)।

(1.5) में जान होता है कि

$$v^2 = v_0^2 + 2as \quad (1.6)$$

वेग के मापक (अदिश राशि) के लिए हिंदी में विशेष शब्द जो है—गति या गति। शब्द का प्रयोग तब होता है, जब वेग की दिशा बदलने से बाहर होती है, अर्थात् वेग की दिशा में बदलाव। दिशा बदलने की कोई आवश्यकता नहीं होती। वैसे, गति का मापक (अदिश राशि) है—गति।

यह त्वरण के साथ ऋजु गति का एक विशेष उदाहरण है— किसी कम (पृथ्वी की सतह की तुलना में बहुत ही कम) ऊँचाई से पिंडों का गिरना (अभिवालन) यदि  $h$  से ऊँचाई,  $t$  से अभिघातन-काल (यहाँ  $v_0=0$ ) और  $a$  से स्थानांतरण अभिघातन के त्वरण को द्योतित किया जाये तो

$$h = \frac{gt^2}{2} \quad (17)$$

दूसरी विधि. दिशांक-मूल से खींचे गये  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  अक्षों पर त्रिज्य दिशों के प्रक्षेप निर्धारित किये जाते हैं (चित्र 2b), जो समय पर निर्भर करते हैं  $x=x(t)$ ,  $y=y(t)$ ,  $z=z(t)$  इसके बाद उन्हीं अक्षों पर वेगों के सदिशों के प्रक्षेप  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  और त्वरण के प्रक्षेप  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$  निर्धारित किये जाते हैं; जैसे :

$$v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$a_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \text{ आदि}$$

वेग के सदिश का मापांक

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

होना और त्वरण के सदिश का मापांक

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

होगा।

तीसरी विधि. गतिमान कण की स्थिति दूरी  $l$  द्वारा निर्धारित की जाती है, जिसे चुने गये दिशांक-मूल से (जैसे चित्र 2c में बिन्दु 1 में) पथ के अनुनीर नापते हैं। दूरी  $l$  को चापीय दिशांक कहते हैं। चापीय दिशांक पर माप की घनात्मक दिशा घुनी जाती है और समय पर उसकी निर्भरता निर्धारित की जाती है।

वेग का मापांक होगा

$$|v_r| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (18)$$

वेग  $v_r$  के सदिश की दिशा पथ की स्पर्शरेखा पर कण के स्थानान्तरण

का जोर होती है; वेग का मापांक ही नहीं उसकी दिशा भी बदलती रहती है। चित्र 2c में बिन्दु 1 पर समय के क्षण  $t$  में वेग  $v_1$  और बिन्दु 2 पर समय के क्षण  $t + \Delta t$  में वेग  $v_2$  दिखाया गया है। समय के अंतराल  $\Delta t$  के दौरान वेग में पूर्ण परिवर्तन  $\Delta v = \Delta v_n + \Delta v_t$  है।  $\Delta v_n$  वेग के मापांक में परिवर्तन और  $\Delta v_t$  वेग की दिशा में परिवर्तन का निरूपित करता है।

कण का त्वरण दो अवयवों (घटकों) में भिन्न कर बना होता है। ये  $v_n$  के मापांक में परिवर्तन की दर और  $v_t$  के मापांक में परिवर्तन की दर, अर्थात्

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_n}{\Delta t} = a_n, \quad a = a_n + a_t \quad (19)$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_t}{\Delta t} = a_t, \quad a_n + a_t = a, \quad (20)$$

यहाँ स्पर्शरेखा की दिशा में इकाई सदिश है  $\hat{u}$  पथ के साथ सब दिशा में बाँटे सदिश है

सदिश  $a_n$  व  $a_t$  क्रमशः स्पर्शरेखी व अभिलंबी त्वरण कहलाते हैं,  $a_n$

1. दिशा पथ के साथ स्पर्शरेखा बनाती है और  $a_t$  की दिशा पथ के अभिलंब, 2. वक्रता के केन्द्र की ओर होती है

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \quad (21)$$

जहाँ  $\rho$  स्पर्शरेखी वक्रता है और समीकरण (18) द्वारा निर्धारित

1.  $\rho$  पथ वक्रता की श्रृंखला है

2.  $\rho$  पर गति के पूर्ण त्वरण का मापांक

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} \quad (22)$$

## 2. घूर्णन गति

किसी अक्ष के गिर्द बिन्दु की चलन-गति एक ऐसी गति है, जिसमें बिन्दु (गति के केन्द्र के गिर्द (और अक्ष के अभिलंब तल में) एक वृत्ताकार पथ तय करता है। किसी अक्ष के गिर्द बिन्दु की घूर्णन-गति एक ऐसी गति है जिसमें बिन्दु के सभी बिन्दु अक्ष के गिर्द चलन करते हैं।

(1.14) घूर्णन गति के कारण पिंड के किसी भी बिंदु की स्थिति को ज्ञात करने के लिए निर्धारित करने वाला सदिश काई कोण  $\phi$  निरूपित करता है। यही दिशा-मूल का काम पथ (अर्थात् वृत्त) का केंद्र करता है।

समरूप घूर्णन ऐसी गति है, जिसमें पिंड समान अंतरालों में समान कोण बनाता हुआ घूर्णन करता है।

समरूप घूर्णन का कोणीय वेग  $\omega$  इकाई समय में निरूपित कोण है

$$\omega = \frac{\phi}{t} \quad (1.15)$$

जहाँ  $\phi$  — समय  $t$  में निरूपित कोण;  $\phi$  को रेडियन (rad) में मापते हैं।

कोणीय वेग को घूर्णनावृत्ति (इकाई समय में चक्करों की संख्या)  $n$  या घूर्णन काल (आवर्त-काल, एक पूर्ण चक्कर में व्यतीत समय)  $T$  द्वारा भी व्यक्त कर सकते हैं। इन राशियों का आपसी संबंध है

$$\omega = 2\pi n = \frac{2\pi}{T} \quad (1.16)$$

कोणीय वेग एक सदिष्ट राशि है। कोणीय वेग  $\omega$  के सदिश की दिशा दक्षिण पंच के नियम से निर्धारित होती है (चित्र 3)। यदि पेंच को पिंड के घूर्णन की दिशा में घुमाया जाय, तो पेंच के रैखिक स्थानान्तरण की दिशा  $\omega$  की दिशा के अनुरूप होगी। इस सदिश की दिशा घूर्णनाक्ष के अनुत्तरी होती है।



चित्र 3 कोणीय वेग की दिशा ज्ञात करने के लिये दक्षिण पंच का नियम।

कोणीय वेग की इकाई रेडियन प्रति सेकंड (rad/s) है।

घूर्णनरत बिंदु का रैखिक वेग उसका क्षणिक वेग  $v$  कहलाता है [देखें 1.8]।

$$v = \omega R, \quad v_{\perp} = \omega R \sin \theta \quad (1.17)$$

जहाँ  $R$  बिंदु से होकर घूर्णनाक्ष के लंब की दिशा में गुजरने वाला त्रिज्य सदिश।

विषयपरिवर्ती घूर्णन की स्थिति में क्षणिक  $v$  औसत कोणीय वेगों के बीच भिन्नता दिखायी जाती है। यदि समय के क्षण  $t$  में क्षण  $t + \Delta t$  के दरम्यान पिंड कोण  $\Delta\phi$  निरूपित करता है, तो अंतराल  $\Delta t$  में औसत कोणीय वेग निम्न अनुपात कहलाता है

$$\omega_{av} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

परिभाषा के अनुसार समय के क्षण  $t$  में क्षणिक कोणीय वेग

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (1.18)$$

रैखिक गति के अनुरूप कोणीय वेग के परिभाषा का कोणीय क्षिप्रता रहते हैं।

कोणीय त्वरण  $\epsilon$  कोणीय वेग में परिवर्तन की दर है, परिवर्तन के अनुसार कोणीय त्वरण का मापक

$$\epsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1.19)$$

जहाँ  $\Delta\omega$  — अंतराल  $\Delta t$  में कोणीय वेग का परिवर्तन।

समपरिवर्ती घूर्णन में  $\epsilon = \text{const}$  होता है (प्रत्येक  $\Delta t$  अंतराल में समान  $\Delta\omega$  कोण बनता है)।

कोणीय त्वरण एक सदिष्ट राशि है। यदि कोणीय वेग में वृद्धि होती है तो कोणीय त्वरण के सदिश  $\epsilon$  की दिशा सदिश  $\omega$  जैसी ही होती है। यदि कोणीय वेग का ह्रास होता है, तो सदिश  $\epsilon$  की दिशा सदिश  $\omega$  के विपरीत होती है।

कोणीय त्वरण की इकाई रेडियन प्रति वर्ग-सेकंड (rad/s<sup>2</sup>) है।

यदि समपरिवर्ती घूर्णन की प्रकृति घूर्णनावृत्ति  $n$  द्वारा व्यक्त की जाय तो

$$\epsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad (1.19a)$$

जहाँ  $\Delta n$  — अंतराल  $\Delta t$  में घूर्णन की आवृत्ति का परिवर्तन है।

घूर्णन आरंभ होने के बाद समय  $t$  बीतने पर कोणीय वेग  $\omega$  व घूर्णन की आवृत्ति  $n$  क्रमशः

$$\omega = \omega_0 + \epsilon t, \quad n = n_0 + \epsilon t \quad (1.18)$$

जहाँ  $\omega_0$  व  $n_0$  समय नापना शुरू करने के क्षण क्रमशः कोणीय वेग व आवृत्ति हैं।



समपरिवर्ती घूर्णन में घूर्णन-काण

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{1}{2} \omega^2 t^2 \quad (1.19)$$

यह (अचल) अक्ष के गिर्द समपरिवर्ती घूर्णन की अवस्था में पिंड के सभी बिंदु त्वरण के साथ गतिमान रहते हैं, क्योंकि उनके वेग की दिशा नए नए बदलती रहती है। इस स्थिति में अभिलंबी त्वरण की दिशा घूर्णनाक्ष की ओर, अर्थात् रेखिक वेग की लंब दिशा में) होती है, इसे केन्द्रमुखी त्वरण कहते हैं :

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \quad (1.20)$$

जहाँ  $v$ —रेखिक वेग,  $\omega$ —कोणिक वेग,  $R$ —परिधि की त्रिज्या, जिस पर बिंदु घूम रहा है।

### 3. जड़त्वी और अजड़त्वी मापतंत्र

वेग व त्वरण सामान्यतः मापतंत्र पर निर्भर करते हैं। मान लें कि मापतंत्र  $K'$  तंत्र  $K$  के सापेक्ष वेग  $v_0$  व त्वरण  $a_0$  से गतिमान है। यदि तंत्र  $K'$  में बिंदु का वेग  $v'$  और त्वरण  $a'$  है, तो तंत्र  $K$  में बिंदु के वेग व त्वरण निम्न सूत्रों द्वारा व्यक्त होंगे :

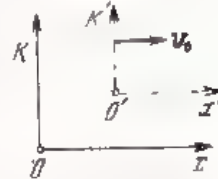
$$v = v' + v', \quad a = a_0 + a' \quad (1.21)$$

यदि तंत्र  $K'$  तंत्र  $K$  के सापेक्ष स्थिर वेग से गतिमान है ( $v_0 = \text{const}$ ,  $a_0 = 0$ ) तो  $a = a'$ ।

एक दूसरे के सापेक्ष स्थिर वेग से गतिमान मापतंत्र जड़त्वी (माप) तंत्र कहलाते हैं। जड़त्वी मापतंत्रों में त्वरण समान होते हैं। स्थिति-विशेष में (जब  $v_0$  स्थिर होता है और उसकी दिशा अक्ष  $Ox$  के अनुन्तर होती है और साथ ही, दोनों तंत्रों के अक्ष परस्पर समांतर होत हैं) तंत्रों के दिशांक गैलीली के निम्न रूपान्तरकारी सूत्र द्वारा जुड़ होते हैं (चित्र 4) :

$$x' = x - v_0 t, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t \quad (1.22)$$

(लकीर से अंकित राशियाँ तंत्र  $K'$  से संबद्ध हैं)।



चित्र 4 जड़त्वी मापतंत्रों की स्थितियों का आरेख।

बहुत बड़े वेगों की स्थिति में गैलीली के रूपान्तरकारी सूत्र कारगर नहीं होते; उनकी जगह लोरेंस की रूपान्तरकारी विधि का प्रयोग होता है। यथार्थ विशेष ( $v_0 \rightarrow 0$ ) के लिये, जिस पर नए नियम विचार किया गया है, ये रूपांतरण निम्न प्रकार से लिख जाते हैं :

$$x' = \frac{x - v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad t' = \frac{t - \frac{v_0 x}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad (1.23)$$

जहाँ  $\beta = v_0/c$ ,  $c$ —निर्वात में प्रकाश-वेग

वेग के बहुत कम होने पर (जब  $v_0 \ll c$  हो) लोरेंस रूपांतरण गैलीलियन रूपांतरण बन जाता है। लोरेंस रूपांतरण के अनुसार मापतंत्रों के आकार छोटे हो जाते हैं :

$$l' = l_0 \sqrt{1 - \beta^2} \quad (1.24a)$$

जहाँ  $l_0$ —रेखाखंड की निजी लंबाई, अर्थात् उस मापतंत्र में रेखाखंड की लंबाई, जिसके सापेक्ष वह अचल है। वेग  $v_0$  के सदिश की लंब दिशा में मापतंत्र सदिश किसी भी जड़ मापतंत्र में समान लंबाई रखता है।

गतिमान मापतंत्र में समय के अंतराल समझ जाते हैं :

$$\tau' = \tau \sqrt{1 - \beta^2} \quad (1.24b)$$

जहाँ  $\tau_0$ —स्थानीय समय (अचल मापतंत्र में मापा गया अंतराल)।

वेगों को जोड़ने का नियम : यदि अचल मापतंत्र  $K$  में वेग के प्रक्षेप  $v_x$  व  $v_y$  हैं तो गतिमान मापतंत्र  $K'$  में

$$v_x' = \frac{v_x - v_0}{1 - \frac{v_x v_0}{c^2}}, \quad v_y' = \frac{v_y \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \frac{v_x v_0}{c^2}} \quad (1.25)$$

वेग के साथ गतिमान मापतंत्र को अजड़त्वी मापतंत्र कहते हैं।

यदि अजड़त्वी मापतंत्र  $K'$  अक्ष के गिर्द स्थिर कोणिक वेग  $\omega$  से गतिमान है और कोई कण  $K'$  के सापेक्ष वेग  $v'$  से चल रहा है, तो तंत्र  $K$  में कण का वेग

$$v = v' + [\omega \times r] \quad (1.26)$$



पिंड का जोर अंक प्रक्षेप वेग  $v_0 = 11.16 \text{ km/s}$  होने पर पिंड का पथ परवल्य का आकार ग्रहण कर लेता है।  $v_0$  द्वितीय अंतरिक्षी वेग है। गतिमान वेग  $11.16 \text{ km/s}$  से अधिक होने पर पिंड का पथ अतिवलय जैसा होता है। अतिस दो स्थितियों में पिंड पृथ्वी को छोड़ कर अतग्रही व्योम में गिरा करने लगता है। पृथ्वी को छोड़ कर दूर चले जाने के लिये आवश्यक न्यूनतम वेग कभी-कभी स्वातंत्र्य वेग भी कहलाता है।

पिंड का वेग  $16.67 \text{ km/s}$  (तृतीय अंतरिक्षी वेग) से कम होने पर पिंड सूर्य की परिक्रमा करने वाला ग्रह बन जाता है।  $16.67 \text{ km/s}$  से अधिक वेग होने पर पिंड सौर-मंडल से बाहर निकल जा सकता है।  $7.93 \text{ km/s}$  से कम वेग होने पर पिंड का पथ दीर्घवृत्त के टुकड़ों जैसा होता है जिसकी दूरस्थ नाभि पृथ्वी के केंद्र के साथ सपात करती है (चित्र 5a में छिन्न रेखा द्वारा दिखाया गया है)।  $7.93 \text{ km/s}$  से बहुत कम वेग होने पर गतिमान पिंडों के पथ परवल्य के टुकड़ों (चापों) की भांति माने जा सकते हैं।

यदि कोई पिंड धरातल के साथ कोण  $\alpha$  बनाता हुआ  $7.93 \text{ km/s}$  से बहुत कम के आरंभिक वेग  $v_0$  से प्रक्षिप्त होता है, तो स्वतंत्र अभिघातन के स्वरण के मान (मापक) व उसकी दिशा दोनों को ही स्थिर माना जा सकता है और धरातल को समान माना जा सकता है। इस स्थिति में पथ परवल्यकाकार होता है (चित्र 5b); उड़ान की दूरी ( $s$ ) और ऊपर उठने की महत्तम ऊँचाई ( $H$ ) निम्न सूत्रों से प्राप्त होते हैं

$$s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (1.28)$$

उड़ान की एक ही दूरी (पराम, range) दो प्रक्षेप-काणों पर प्राप्त हो सकती है  $\alpha_1$  व  $\alpha_2$ , जिसमें  $\alpha_2 = 90^\circ - \alpha_1$ । महत्तम दूरी  $\alpha = 45^\circ$  के काण पर प्रक्षेपण से प्राप्त होती है।

हवा के प्रतिरोध के कारण उड़ान की दूरी और उड़ान की ऊँचाई कम हो जाती है। उदाहरणार्थ,  $\alpha = 20^\circ$  के कोण पर आरंभिक वेग  $v_0 = 550 \text{ m/s}$  से प्रक्षिप्त पिंड वायु-प्रतिरोध की अनुपस्थिति में  $19.8 \text{ km}$  दूर गिरता है, पर हवा में उड़ता हुआ तोप का गोला इस प्रक्षेप-काण व प्रक्षेप-वेग पर सिर्फ  $8.1 \text{ km}$  तय कर पाता है।

## सारणी

सारणी 1 त्वरण (सन्निकट मान)

वर्तित गति	वेग $\text{m/s}$	वेग $\text{km/s}$	त्वरण ( $\text{m/s}^2$ )
भूतल की रेलगाड़ी	1	0.001	0.1
मोटर रेल की कार	4	0.004	0.4
घरेलू लिफ्ट	10-15	0.01-0.02	1-2
पार्की रेलगाड़ी	45	0.05	10
बस	60	0.06	10
राफ्ट की उड़ान	30-50	0.03-0.05	10
सर्पों के कारमुक्ष	100-1000	0.1-1	10

## सारणी 2 ग्रहों के गतिकीय परामितक

( $T_p$  सूर्य के शिद परिक्रमण का आवर्तकाल,  $T_a$  अक्ष के शिद घूर्णन का आवर्तकाल,  $v_0$  कक्षीय वेग,  $v_s$  स्वातंत्र्य वेग,  $N$  उपग्रहों की संख्या)

ग्रह	$T_p$ वर्ष	$T_a$	$v_0$ $\text{km/s}$	$v_s$ $\text{km/s}$	$N$
बुध	0.241	59 अह्निक	4.3	4.3	-
शुक्र	0.615	$247 \pm 5$ अह्निक	3.5	10.5	-
पृथ्वी	1.06004	23 घं 56 मि 4 से	29.8	11.0	1
मंगल	1.881	24 घं 37 मि 22 से	24.2	5.0	2
बृहस्पति	11.86	9 घं 51 मि	13.6	5.5	14
शुक्र	29.46	10 घं 14 मि.	9.65	37	10
शुक्र	34.01	10 घं 49 मि	6.78	22	5
शुक्र	164.8	15 घं 40 मि	5.42	25	2
शुक्र	250.6	6.4 अह्निक	4.75	1	-
शुक्र	-	27 अह्निक	1.02	2.37	-
शुक्र	-	7 घं 43 मि 11 से	-	-	-



सागणी 3 भिन्न ऊँचाइयों  $H$  पर प्रथम व द्वितीय

अंतरिक्षी वेग  $v_1$  व  $v_2$

$H = 10^3 \text{ km}$  में और  $v_1$  व  $v_2 = \text{km/s}$  में)

	$H$	$v_1$	$v_2$	$H$	$v_1$	$v_2$
1000	1000	5.92	8.37	1000	3.31	4.68
2000	2000	4.93	6.98	4000	2.94	4.15
3000	3000	3.33	5.50	5000	2.66	3.76

सागणी 4 भिन्न ऊँचाइयों  $H$  पर कृत्रिम उपग्रहों

द्वारा पृथ्वी की परिक्रमा का आवर्तकाल  $T$

$H$  परिक्रमण की औसत ऊँचाई है,  $H = \text{km}$  में और  $T = \text{h}$  में)

$H$	$T$	$H$	$T$	$H$	$T$
0	1.41	1000	1.75	5000	3.35
250	1.49	1500	1.93	10000	5.78
500	1.58	1690	2.00	35800*	23.935
750	1.68	2000	2.12		

\* 35800 किलोमीटर पर उपग्रह का कक्षीय कोणिक वेग घरातल के बिंदुओं के कोणिक वेग के बराबर है, अतः उपग्रह आकाश में अचल लटका हुआ प्रतीत होता है।

## B. प्रवेगिकी

### मूल अवधारणाएँ और नियम

प्रवेगिकी पिंडों की गति के नियमों और गति को उत्पन्न करने वाले तथा उद्यम परिवर्तन लाने वाले कारणों का अध्ययन करती है। पिंडों की गति या उसका रूप में परिवर्तन कम से कम दो पिंडों की व्यतिक्रिया (आपसी प्रतिक्रिया) से उत्पन्न होता है।

बल एक भौतिक राशि है जो पिंडों की व्यतिक्रिया की विशेषता बनाना है। पिंड की गति में परिवर्तन या उसकी आकृति में परिवर्तन (विकृति) हो, या एक ही साथ दोनों की निर्धारित करना है।

बल एक सदिश राशि है। पिंड पर क्रियाशील बल वेगों का समानरूपी के नियम से, अर्थात् सदिशों की भाँति, जोड़ा है।

### I. प्रवेगिकी के नियम

न्यूटन का पहला नियम (पिंड की गति अवस्था या समरूप गति) निम्न की अवस्था तक तक बनी रहती है, जब तक उस पर क्रियाशील बल उसकी अवस्था में परिवर्तन नहीं लाते।

पिंडों में अपने वेग को (मापक व दिशा में) सुरक्षित रखने का गुण होता है (अथ उस पर कोई बल क्रियाशील नहीं होता या जब उस पर बल क्रियाशील हो तो आपस में एक दूसरे को सन्तुलित कर लेते हैं)। इस गुण को जड़त्व कहते हैं।

पिंड की गति में परिवर्तन उस पर क्रियाशील बल द्वारा ही नहीं, पिंड की गुणों द्वारा भी निर्धारित होते हैं।

जड़त्व का माप निर्धारित करने वाली भौतिक राशि को द्रव्यमान कहते हैं। द्रव्यमान का माप गुरुत्वाकर्षण के नियम में भी आता है (दे पृ. 22), अतः पिंडों की गुरुत्वी व्यतिक्रिया का माप निर्धारित करना है। अतः हम गुरुत्वी द्रव्यमानों में भेद किया जा सकता है। पर सभी प्रायोगिक ही बताते हैं कि पिंड का जड़त्वी द्रव्यमान उसके गुरुत्वी द्रव्यमान के बराबर होता है। इसीलिये द्रव्यमान को पिंडों के जड़त्वी व गुरुत्वी दोनों ही माप माना जाता है।

2<sup>न</sup> का दूसरा नियम पिंड पर क्रियाशील बल  $F$  के कारण उत्पन्न। इस बल का समानुपाती तथा पिंड के द्रव्यमान  $m$  का व्युत्क्रमानुपाती। त्वरण की दिशा बल की दिशा जैसी होती है।

$$a = k \frac{F}{m} \quad (29)$$

जहाँ  $k$  द्रव्यमान की इकाइयाँ इस प्रकार चुनी जाती हैं कि गुणक  $k$  का मान 1 हो जाय।

1<sup>न</sup> की इकाई के रूप में ऐसा बल लिया जाता है, जो 1 kg

द्रव्यमान वाली पिंड की  $1 \text{ m s}^{-2}$  का त्वरण संप्रेषित करता है। यह इकाई का नाम न्यूटन (N) है।

यदि पिंड पर एक साथ कई बल क्रियाशील हैं, तो त्वरण परिणामी बल द्वारा निर्धारित होता है, जो पिंड पर क्रियाशील बलों के सदिष्ट योग के बराबर होता है, अर्थात्

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n \quad (1.30)$$

पिंड के द्रव्यमान और उसके वेग का गुणनफल आवेग (या गति की मात्रा) कहलाता है  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ , आवेग एक सदिष्ट राशि है, जिसकी दिशा वेग की दिशा होती है।

बल के उत्पाद और उस अवधि को जिसमें वह कार्य करता है, संवेग कहते हैं:  $\Delta p = F\Delta t$ । संवेग आवेग में परिवर्तन के बराबर होता है।

आवेग की इकाई किलोग्राम मीटर प्रति सेकंड ( $\text{kg m/s}$ ) है।

न्यूटन के दूसरे नियम को पिंड के आवेग द्वारा भी व्यक्त कर सकते हैं।

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} = \mathbf{F}, \text{ या } \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} \quad (1.31)$$

जहां  $\Delta p$  = आवेग में परिवर्तन (बल  $\mathbf{F}$  के कारण अंतराल  $\Delta t$  में)।

इस प्रकार, इकाई समय में पिंड के आवेग में होने वाला परिवर्तन मापक और दिशा में क्रियाशील बल के बराबर होता है।

न्यूटन का तीसरा नियम दो पिंड जिन बलों से एक दूसरे पर क्रिया करता है, वे एक सरल रेखा पर लगते हैं, उनके मापक बराबर होते हैं, पर उनकी दिशाएं विपरीत होती हैं।

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}, \text{ या } m_1 \mathbf{a}_1 = -m_2 \mathbf{a}_2 \quad (1.32)$$

जहां  $\mathbf{F}_{12}$  = प्रथम पिंड पर क्रियाशील बल  $\mathbf{F}_{21}$  = दूसरे पिंड पर क्रियाशील बल,  $m_1, m_2$  = प्रथम व दूसरे पिंड के द्रव्यमान,  $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2$  = उनके त्वरण।

न्यूटन के नियम सिर्फ जड़त्वी मापतंत्रों में सही उतरते हैं।

न्यूटन के दूसरे नियम की गणितीय अभिव्यक्ति कण की प्रवेगिकी का मूल समीकरण कहलाती है।

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (1.33)$$

अजड़त्वी तंत्रों में कण की प्रवेगिकी के मूल नियम में बल  $\mathbf{F}$  के अतिरिक्त

जड़त्व के बलों की भी ध्यान में रखनी पड़ती है। उदाहरणार्थ, यदि अजड़त्वी तंत्र  $K'$  अक्ष के विंदु स्थिर कोणिक वेग  $\omega$  से घूम रहा है और अक्ष  $K$ -तंत्र के सापेक्ष त्वरण  $\mathbf{a}_0$  के साथ रैखिक (अग्रगामी) गति में रत है, तो  $K'$ -तंत्र में त्वरण द्वारा [दे (1.27)]

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \omega^2 \mathbf{r} + 2[\mathbf{v}' \times \boldsymbol{\omega}], \quad (1.34)$$

जहां  $\mathbf{v}' = K'$ -तंत्र के सापेक्ष कण का वेग  $\mathbf{a} = K$ -तंत्र में त्वरण, (1.34) को  $m$  से गुणा करने पर अजड़त्वी मापतंत्र में कण की गति का मूल समीकरण प्राप्त होता है

$$m\mathbf{a}' = \mathbf{F} - m\mathbf{a}_0 + m\omega^2 \mathbf{r} + 2m[\mathbf{v}' \times \boldsymbol{\omega}], \quad (1.35)$$

जहां  $-m\mathbf{a}_0 = \mathbf{F}_1$  = अजड़त्वी मापतंत्र की रैखिक अग्रगामी गति के कारण उत्पन्न जड़त्व-बल है,  $m\omega^2 \mathbf{r} = \mathbf{F}_{21}$  = जड़त्व का अपकेन्द्री (केन्द्रापसारि) बल और  $2m[\mathbf{v}' \times \boldsymbol{\omega}] = \mathbf{F}_C$  = कोरियोलिस-बल<sup>1</sup>।

जड़त्वी बलों की अपनी विशेषता होती है वे पिंडों की व्यतिक्रिया का नहीं दर्शाते, वे अजड़त्वी मापतंत्रों की प्रकृति द्वारा निर्धारित होते हैं। इसीलिये जड़त्वी बलों पर न्यूटन का तीसरा नियम नहीं लागू होता, अर्थात् उनमें अनुरूप कोई प्रतिक्रिया बल नहीं दिखाया जा सकता। अजड़त्वी तंत्रों में जड़त्व बल अनुपस्थित रहते हैं। गुरुत्व-बल की तरह जड़त्व बल भी पिंड के द्रव्यमान के समानुपाती होते हैं। गुरुत्व के समरूप क्षेत्र में भौतिक प्रक्रियाएँ उसी प्रकार घटती हैं, जैसे उमो मान वाले जड़त्व-बलों के समरूप क्षेत्र में (सापेक्षिकता के सामान्य सिद्धांत में समतुल्यता-सिद्धांत)।

आवेग-संरक्षण का नियम पिंडों के व्यूह (सिस्टम) पर क्रियाशील बलों को दो समूहों में बांटा जा सकता है आंतरिक व बाह्य। व्यूह में स्थित पिंडों की व्यतिक्रिया से उत्पन्न बलों को आंतरिक बल कहते हैं। व्यूह के बाहर स्थित पिंडों की व्यतिक्रिया से उत्पन्न बलों को बाह्य बल कहते हैं। व्यूह को संवृत कहते हैं जब वह बाह्य बलों के प्रभाव से मुक्त रहता है। संवृत व्यूह में आवेग-संरक्षण का नियम लागू होता है। संवृत व्यूह में पिंडों व आवेगों का सदिष्ट योग एक स्थिर राशि है  $\Sigma \mathbf{p} = \text{const.}$

1. पहली बार 1815 में फ्रांसीसी गणितज्ञ Gaspard de Coriolis (1792-1843) ने इस प्रभाव का वर्णन किया था। पूर्णतः मापतंत्र से संबद्ध प्रेक्षक की स्थिति में मापक कण पर अपकेन्द्री बल के अतिरिक्त एक और बल लगा हुआ प्रतीत होगा, जो अचर गुरुत्व द्वारा निर्धारित होता है, — अनु.

संरक्षण के नियमों के लिए निम्न संबंध मंजूर हैं

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

यहाँ  $u_1, u_2$  प्रथम व दूसरे पिंडों की व्यक्तिगत गति से पूर्व की वेग हैं और  $v_1, v_2$  क्रमशः क्रिया के बाद के।

वेग के संरक्षण का नियम सिर्फ जड़त्वी तंत्रों में मंजूर होता है। जड़त्वी तंत्रों में यह नियम तभी लागू होता है, जब बाह्य बल का योगफल (जड़त्वी तंत्रों को भी ध्यान में रखे) शून्य के बराबर होता है (जैसे भार गिनता की स्थिति में)। इन खास स्थितियों की विशेष प्रकृति होती है।

आवेग-संरक्षण का नियम प्रकृति का एक मूलभूत नियम है। वह यांत्रिक व्यवस्थाओं पर ही नहीं विद्युच्चुंबकीय विकिरण के अध्ययन में भी लागू होता है (दे पृ. 203)। अंतिम स्थिति में विद्युच्चुंबकीय क्षेत्र के फोटोनों के आवेगों को ध्यान में रखना पड़ता है।

रूपांतरण कम वेगों के लिए (जब  $v \ll c$  है) गैलीलियन रूपांतरण लागू होता है, क्योंकि न्यूटन के नियम सभी जड़त्वी मापतंत्रों के लिए सत्य हैं; ऐसे तंत्रों में द्रव्यमान, त्वरण व बल समान रहते हैं। अब वेग इतना अधिक हो कि प्रकाश-वेग के साथ उसकी तुलना की जा सके (अर्थात् जब  $v \sim c$  हो), तब वेग पर द्रव्यमान की निर्भरता का ध्यान में रखना पड़ता है।

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

जहाँ  $m_0$  = अचल पिंड का द्रव्यमान (स्थैर्य द्रव्यमान),  $m$  गतिमान पिंड का द्रव्यमान,  $\beta$  — निर्वात में प्रकाश-वेग  $\beta = v/c$ ।

एक जड़त्वी तंत्र से दूसरे में सन्नमन करते वक़्त बल  $F$  तीरोंसी रूपांतरण के अनुसार रूपांतरित होता है (दे पृ. 8)। मापतंत्रों के मापक्षक वेग के सापेक्ष की लंब दिशा में बल के प्रक्षेप बदल जाते हैं जबकि उसमें समानांतर प्रक्षेप अपरिवर्तित रहते हैं, अर्थात्  $F'_x = F_x$ ,  $F'_y = F_y \sqrt{1 - \beta^2}$ ,  $F'_z = F_z$  (सापेक्षिक वेग अक्ष  $Ox$  के समानांतर है,  $Ox \parallel Ox'$ ,  $Oy \parallel Oy'$ ,  $Oz \parallel Oz'$ )।

प्रक्षेप अपना महत्तम मान उस तंत्र में रखता है जिसके सापेक्ष पिंड स्थिर (अचल) रहता है। व्यापक स्थिति में त्वरण व बल के सदिशों की दिशाएँ संघात नहीं करतीं।

## 2. घूर्णन-गति की प्रवेगिकी

घूर्णन-गति (या चक्रगति) के वर्णन के लिए निम्न अवधारणाओं की आवश्यकता पड़ती है। बल का आघूर्ण (बलाघूर्ण), गतिमात्रा का आघूर्ण, जड़त्व का आघूर्ण (जड़त्वाघूर्ण)। ये राशियाँ किसी बिंदु या किसी अक्ष के सापेक्ष निर्धारित की जाती हैं।

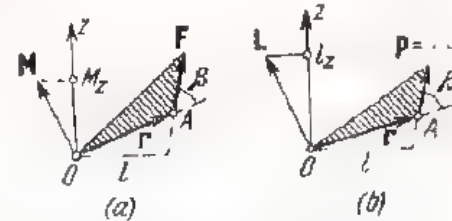
बिंदु  $O$  के सापेक्ष बलाघूर्ण सदिश  $M$  का कहना है (नियम 6a)

$$M = r \times F$$

और उसका मापांक

$$M = r F \sin \beta \quad (136)$$

जहाँ  $r$  — बिंदु  $A$  का विज्य सदिश। मापांक  $M$  बराबर है बल  $F$  का मापांक  $|F|$  व उसकी भुजा  $r$  के गुणनफल के (बल की भुजा बिंदु  $O$  से बल की क्रियारखा तक की अल्पतम दूरी है  $r \sin \beta$ ,  $\beta$   $r$  व  $F$  के बीच का कोण)।



चित्र 6. बलाघूर्ण (a) व गतिमात्रा के आघूर्ण (b) की परिभाषाओं का दृश्य सुगम बनाने के लिए आरेख।

कण की गतिमात्रा का आघूर्ण (बिंदु  $O$  के सापेक्ष) सदिश  $L$  कहलाता है (चित्र 6b)।

$$L = r \times p$$

और उसका मापांक

$$L = r p \sin \beta \quad (137)$$

जहाँ  $p = mv$  — कण की गतिमात्रा (या उसका आवेग); मापांक  $L$  बराबर है मापांक  $p$  गुणा भुजा  $r \sin \beta$ ,  $\beta$   $r$  व  $p$  के बीच का कोण। ( $r$  को बल की भुजा कहते हैं।)

चित्र (1) के सापेक्ष कण के जड़त्व का आघूर्ण (उसका जड़त्वाघूर्ण) अदिश  $I = mr^2$  कहलाता है ( $m$  = कण का द्रव्यमान)।

$I$  का आघूर्ण (बलाघूर्ण) की इकाई न्यूटन-मीटर ( $N \cdot m$ ) है गति-मात्रा के आघूर्ण की—किलोग्राम-वर्गमीटर प्रति सेकेंड ( $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$ ) और बलाघूर्ण की—किलोग्राम वर्गमीटर ( $kg \cdot m^2$ )।

किसी बिंदु के सापेक्ष (गिर्द) कण की घूर्णन-गति का मूल नियम इस प्रकार से व्यक्त किया जा सकता है: गतिमात्रा के आवेश में परिवर्तन की दर कण पर क्रियाशील बल के आघूर्ण के बराबर होती है, अर्थात्

$$\frac{dM}{dt} = \tau$$

यदि और सही कहें, तो

$$M = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{dL}{dt} \quad (1.38)$$

इस समीकरण को आवेशों का संरक्षण कहते हैं। अजड़त्वी मापन्यों में आवेश  $M$  निश्चित करत वक्त जड़त्वी बल के आघूर्णों का भी ध्यान में रखना पड़ता है।

अक्ष  $Oz$  के सापेक्ष बलाघूर्ण इस अक्ष पर बलाघूर्ण  $M$  के प्रक्षेप का कहते हैं (इसे  $M_z$  से घोषित करते हैं, (दे चित्र 6a)।)

अक्ष  $Oz$  के सापेक्ष गतिमात्रा का आघूर्ण इस अक्ष पर गतिमात्रा के आघूर्ण  $L$  के प्रक्षेप को कहते हैं। (इसे  $L_z$  से घोषित करते हैं, (दे चित्र 6b)।)

अक्ष के सापेक्ष (या अक्ष के गिर्द) बल व गतिमात्रा के आघूर्ण बिंदु  $O$  के चयन पर नहीं निर्भर करते; ये अदिश राशियाँ हैं।

उदाहरण—वृत्त की परिधि पर कण की समरूप गति केंद्रानुसारी त्वरण द्वारा लक्षित (characterised) होती है (जो वग की दिशा बदलता रहता है) और यदि उस बल की उपस्थिति में कायम रह सकती है जो इस त्वरण को उत्पन्न करता है। यह बल परिधि पर गतिमान कण पर क्रियाशील रहता है और केंद्रानुसारी बल कहलाता है। केंद्रानुसारी बल का सापेक्ष

$$F_r = -\frac{mv^2}{R} = -m\omega^2 R, \quad (1.39)$$

केंद्रानुसारी बल की दिशा बिंदु  $O$  की ओर घूर्णनाक्ष की ओर होती है। घूर्णनाक्ष के सापेक्ष उसका आघूर्ण शून्य होता है (क्योंकि इस बल की लंबाई शून्य है)।

ठोस पिंड के घूर्णन की प्रवेगिकी का मूल समीकरण (अचल अक्ष के लिए)

$$I \frac{d\omega}{dt} = M, \quad (1.40)$$

जहाँ  $M_z$  = घूर्णनाक्ष के सापेक्ष सभी बाह्य बलों का आघूर्ण,  $I_z$  = अक्ष  $Oz$  पर कोणीय त्वरण का प्रक्षेप,  $I$  = अक्ष  $Oz$  के सापेक्ष पिंड के जड़त्व का आघूर्ण।

अक्ष के सापेक्ष ठोस पिंड का जड़त्वाघूर्ण पिंड के सभी बलों के जड़त्वाघूर्णों का योगफल के बराबर होता है। किसी अक्ष के सापेक्ष जड़त्वाघूर्ण  $I$  का कलन श्रेष्ठतर के प्रमेय से किया जाता है:

$$I = I_{cm} + mb^2 \quad (1.41)$$

जहाँ  $I_{cm}$  = पिंड का जड़त्वाघूर्ण दिये हुए अक्ष के समानांतर और पिंड के गुरुत्व बल से (दे पृ. 38) होकर गुजरने वाले अक्ष के सापेक्ष,  $b$  = अक्ष की आपसी दूरी।

अक्ष के गिर्द बल के आघूर्ण बीजगणितीय व्यंजन है, इनका चिह्न अक्ष  $Oz$  की घनात्मक दिशा के चयन और घूर्णन की दिशा पर निर्भर करता है। घूर्णन की दिशा घनात्मक मानी जाती है जब कोण सपने की दिशा और अक्ष  $Oz$  की दिशा दक्षिण पंच के नियम में सवद्ध होती है। यदि बल का आघूर्ण बाण  $\phi$  की दिशा में घूर्णन उत्पन्न करता है (दे चित्र 3) तो आघूर्ण घनात्मक माना जाता है।

कणों के मूलन व्युत्पन्न की गतिमात्राओं के आघूर्णों का सदिश योगफल जड़त्वी मापन्यों में स्थिर राशि होता है (गतिमात्रा के आघूर्ण के संरक्षण का नियम)।

$$\sum L_i = \text{const} \quad (1.42)$$

यह नियम अन्य भौतिक प्रक्रियाओं पर भी लागू होता है। आवेश (गतिमात्रा) के आघूर्ण के संरक्षण का नियम भौतिकी के मूलभूत नियमों में से एक है।



## 3 गुरुत्वाकर्षण का नियम

$m_1$  व  $m_2$  द्रव्यमान वाले दो कण एक दूसरे को बल

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (143)$$

में आकर्षित करते हैं, जहाँ  $R$  = कणों की आपसी दूरी है और  $\gamma$  = गुरुत्वोत्थरांक  $= 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$ ।

गुरुत्वी स्थिरांक सांख्यिक रूप से परस्पर इकाई दूरी पर स्थित इकाई द्रव्यमान वाले कणों के पारस्परिक गुरुत्वाकर्षण बल के बराबर होता है।

$m_1$  व  $m_2$  द्रव्यमान वाले दो समानी (एकस) गोलों की (गुरुत्वी) व्यक्तिगतता का बल उपरोक्त सूत्र द्वारा ही व्यक्त किया जाता है, सिर्फ़ इस स्थिति में  $R$  गोलों के केंद्रों की आपसी दूरी साबित करता है।

धरातल के निकट स्थित  $m$  द्रव्यमान वाल पिंड और पृथ्वी के बीच गुरुत्वाकर्षण-बल

$$F = \gamma \frac{Mm}{R_{\text{pr}}^2} \quad (144)$$

है, जहाँ  $M$  = पृथ्वी का द्रव्यमान  $R_{\text{pr}}$  = पृथ्वी की त्रिज्या।

पिंड गुरुत्वाकर्षण-क्षेत्र के कारण आकर्षित होता है। गुरुत्वाकर्षण-क्षेत्र की तीव्रता  $G_R$  एक भौतिक राशि है, जो सांख्यिक रूप से  $1 \text{ kg}$  द्रव्यमान वाले पिंड पर क्रियाशील बल के बराबर होती है (क्षेत्र के किसी दिये हुए बिंदु पर)  $G_R = F/m$ ।

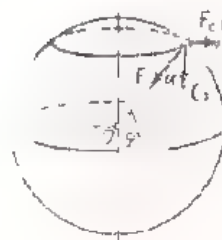
पृथ्वी के किसी भी दिये हुए बिंदु पर सभी पिंड धरातल के सापेक्ष समान त्वरण से गिरते हैं, स्वतंत्र अभिपतन की स्थिति में त्वरण  $g$  लगभग  $G_R$  के बराबर होगा है।

पृथ्वी की दैनिक घूर्णन-गति के कारण त्वरण  $g$  दो बलों के सदृष्ट योष्फल की क्रिया का प्रतिफल होता है पृथ्वी के आकर्षण-बल  $F$  [दे (144)] और अपकेंद्री जडत्व-बल  $F_{\text{अप}} = m\omega^2 \rho$  [दे (135)] के योगफल से प्राप्त परिणामी बल की क्रिया का अतः पृथ्वी से सन्नत मापतत्र अग्रदृष्टी होगा। परिणामी बल  $F + F_{\text{अप}} = G$  गुरुत्व-बल कहलाता है; स्वतंत्र अभिपतन के त्वरण की दिशा इस परिणामी बल की दिशा के साथ संगत करती है (चित्र 7a)

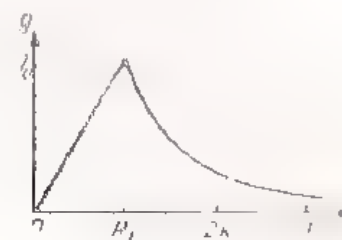
$m$  द्रव्यमान वाल पिंड का गुरुत्व बल निम्न सूत्र में निर्धारित होता है

$$G = mg \quad (145)$$

गुरुत्व-बल  $G$  और गुरुत्वाकर्षण बल  $F$  के बीच अंतर नाथ है, क्योंकि दोनों के बीच का कोण  $\alpha$  (दे चित्र 7a) लगभग  $(10)^{-8} \sin 2\phi$  के बराबर है ( $\phi$  = अक्षांश)।



(a)



(b)

चित्र 7 (a) पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण-बल  $F$  व गुरुत्व-बल  $G$  की दिशाएँ (b) पृथ्वी के ऊपर 1 मिनट दूरियों पर स्वतंत्र अभिपतन के त्वरण पृथ्वी का गुरुत्व मान माना गया है।

अतः  $P = G - ma$  होता है, जहाँ  $a$  = पृथ्वी के सापेक्ष पिंड का त्वरण (यह त्वरण साथ-साथ हमके आधारा का भी)। यदि  $a = 0$ , तो  $P = G$ , गुरुत्व-बल की अवस्था में  $a = g$   $P = 0$ , लेकिन  $G \neq 0$ ।

$G$  की दिशा सादृश रखा के साथ समान करनी है गुरुत्वाकर्षण बल  $F$  का जो हमारा पृथ्वी के केंद्र की ओर निर्दिष्ट रहती है इन दोनों बलों की विलक्षण दिशा पर संगत करनी है, जहाँ  $G = F$  है, और विरलक (विपक्ष-रखा) पर भी जहाँ  $G = F$   $F_{\text{अप}}$  है (सीमांतरे (और हमनिरे) पर भी की दिशा-लगा-नहीं है) स्वतंत्र अभिपतन का त्वरण अक्षांश पर निर्भर करता है (दे मासपी 13)

धरातल के अभिपतन का त्वरण (गुरुत्वाकर्षण-क्षेत्र की तीव्रता) धरातल के निकट होता है —

$$g = \gamma \frac{M_{\text{pr}}}{R_{\text{pr}}^2 + H^2}$$

$$g = g_0 \left( \frac{R_{pr}^2}{R_{pr}^2 + H^2} \right) \quad (1.46)$$

जहाँ  $g_0$  — प्रतल (पृथ्वी की सतह) पर त्वरण,

$H \ll R_{pr}$  होने पर प्रथम सन्निकटन में

$$g = g_0 \left( 1 - 2 \frac{H}{R_{pr}} \right) \quad (1.47)$$

पृथ्वी के केंद्र में गुरुत्वाकर्षण के क्षेत्र की तीव्रता शून्य होती है। यदि पृथ्वी को समायी (एकरस) गोला मान लिया जाये, तो केंद्र से दूर जाने के साथ-साथ  $g$  का मान बढ़ने लगेगा। पृथ्वी से परे उसके केंद्र से दूर होने पर  $g$  घटने लगता है। पृथ्वी के केंद्र से दूरी  $R$  पर त्वरण  $g$  की निर्भरता ग्राफ द्वारा दर्शायी गयी है (चित्र 7b)।

#### 4. घर्षण-बल

यदि कोई ठोस पिंड किसी दूसरे ठोस पिंड के सापेक्ष गति कर रहा है और दोनों की सतहें एक-दूसरे को स्पर्श कर रही हैं, तो इस गति में बाधा डालने वाला एक बल उत्पन्न हो जाता है। ऐसे बल को घर्षण का बल कहते हैं। इसकी उत्पत्ति का कारण घर्षणरत सतहों के खुरदरपन और आण्विक व्यतिक्रिया के बलों से समझाया जाता है। यदि ठोस पिंडों की स्पर्शरत सतहों के बीच किसी द्रव की कोई परत नहीं होती, तो इस प्रकार का घर्षण शून्य घर्षण कहलाता है।

समतल सतह पर विश्रामावस्था में स्थित पिंड पर यदि कोई बल सतह की समानांतर दिशा में लगाया जाये, तो पिंड तब तक गतिमान नहीं होगा जब तक बल एक निश्चित मान नहीं ग्रहण कर लेगा। बल का यह मान स्थैर्य (विश्रामावस्था) के घर्षण-बल (स्थैतिक घर्षण-बल) को निर्धारित करता है।

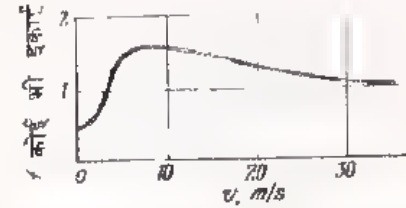
शुष्क गतिक घर्षण गति की प्रकृति के अनुसार दो प्रकार का होता है फिसलन का घर्षण (जब एक पिंड दूसरे की सतह पर फिसलता है) और लुढ़कन का घर्षण (जब एक पिंड दूसरे की सतह पर लुढ़कता है)।

फिसलन का घर्षण-बल  $F_{gl}$  निम्न बातों पर निर्भर करता है — घर्षणरत सतहों की प्रकृति, उनके परिष्करण की क्वालिटी और उन्हें आपस में दबा कर रखने वाले बल (अभिलंबी बल के बल  $F_{ab}$ ) पर, अर्थात्

$$F_{gl} = f F_{ab} \quad (1.48)$$

जहाँ  $f$  — घर्षण-गुणांक, जो घर्षणरत सतहों की प्रकृति और उनके परिष्करण की कोटि पर निर्भर करता है।  $f$  लगभग रूप से घर्षणरत पिंडों की सापेक्ष गति पर भी निर्भर करता है (पर इस निर्भरता की अवसर अपेक्षा की जाती है)।

स्थैतिक घर्षण के गुणांक  $f_{st}$  का मान पिंड पर विभाजीय बल के परम मान में परिवर्तन के अनुसार बदलता रहता है, पर  $0 < f_{st} \leq f$  जहाँ  $f$  फिसलन का घर्षण-गुणांक।



चित्र 7: दृप्तता का गुणन पर दृप्तता के गुणन का गति व वेग पर घर्षण-बल की निर्भरता

चित्र 8 में दिखाया गया वक्र दृप्तता की सतह पर दृप्तता के परम मान, गतिमान बल और उसके वेग की पारस्परिक निर्भरता का सन्निकट रूप में देखाता है। राशि  $f$  के मान सारणी 12 में दिये गये हैं।

लुढ़कने की क्रिया में फिसलन की अपेक्षा कम घर्षण होता है। अर्थात् घर्षण-बल लुढ़कते पिंड की विज्या  $R$  अभिलंबी दायक बल  $F_{ab}$  स्पर्शरत सतहों की प्रकृति पर निर्भर करता है

$$F_{lu} = k \frac{F_{ab}}{R} \quad (1.49)$$

जहाँ  $k$  — स्पर्शरत सतहों की प्रकृति लक्षण (कैम्बेरेराइज) करने वाली राशि है, इसको विमीयता खराब है।

घर्षण के रूप में  $k$  के निम्न मान दिये जा रहे (cm में)

1. पट्टी पर फौलाद की कितारी वाले चक्के के लिए 0.05

2. पट्टी पर लोहे के चक्के के लिए 0.12

### 5 द्रव्य का घनत्व

द्रव्य का घनत्व  $\rho$  एक भौतिक राशि है, जो इकाई आयतन में निहित द्रव्यमान  $m$  के बराबर होती है। कभी-कभी भार-घनत्व नामक राशि प्रयुक्त की जाती है। भार घनत्व ( $\rho_w$ ) एक भौतिक राशि है, जो इकाई आयतन में द्रव्यमान  $m$  के बराबर होता है। अतः

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.5)$$

$$\rho_w = \frac{W}{V} \quad (1.6)$$

जहाँ  $m$  = पिंड का द्रव्यमान  $G$  = उसका भार  $V$  = आयतन।

प्राविधि से विषमामी (जैसे गुरगुरे) पिंडों के लिए आयतनी घनत्व प्रयुक्त होता है। राशि आयतनी घनत्व दिये हुए द्रव्य के इकाई आयतन का द्रव्यमान है। आयतनी घनत्व का कलन करते वक़्त गुरगुरे या चूर हुए द्रव्य में टुकड़ा या दाना के बीच के अक्काश को भी उस द्रव्य के आयतन में समाविष्ट कर लिया जाता है। ऐसे द्रव्यों के उदाहरण हैं रेन पत्थर, फायला लकड़ी आदि।

घनत्व की इकाई : किलोग्राम प्रति घन मीटर ( $\text{kg m}^3$ )। भार-घनत्व की इकाई : न्यूटन प्रति घन मीटर ( $\text{N m}^3$ )।

य का सापेक्षिक घनत्व ( $d$ ) किसी अन्य द्रव्य के घनत्व के साथ उसके घनत्व की तुलना है (अर्थात् दोनों के घनत्वों का अनुपात है) जहाँ अन्य द्रव्य की जगह  $4^\circ\text{C}$  पर स्थित पानी को लिया जाता है तो सापेक्षिक घनत्व अक्सर विशिष्ट गुरुत्व कहलाता है। सापेक्षिक घनत्व (और विशिष्ट गुरुत्व) राशि विभीष्यता नहीं होती। यह विमाहीन राशि है।

### 6 कार्य शक्ति, ऊर्जा

बल का कार्य (बल द्वारा सम्पन्न कार्य) एक भौतिक राशि है, जो बल द्वारा किसी दिशा में स्थानान्तरण के गुणनफल के बराबर होती है। कार्य मात्रा द्वारा दूसरे को प्रदान गति की माप है। यदि स्थानान्तरण  $s$  बल  $F$  की दिशा में साथ-साथ नहीं करता, तो कार्य

$$A = Fs \cos \alpha \quad (1.7)$$

जहाँ  $\alpha = F$  व  $s$  के बीच का कोण

कार्य एक बीजगणितीय राशि है, यह धनात्मक हो सकता है (जब  $\cos \alpha > 0$ ) या ऋणात्मक (जब  $\cos \alpha < 0$ )।

स्थिर बलाघूर्ण  $M$  द्वारा पिंड की घूर्णन  $\phi$  पर सम्पन्न करने में सम्पन्न कार्य

$$A_M = M\phi \quad (1.8)$$

शक्ति (Power) इकाई समय में सम्पन्न कार्य

$$P = \frac{A}{t} = Fv \quad (1.9)$$

जहाँ  $F$  = बल  $v$  = वेग।

घूर्णनरत पिंड की शक्ति (उसके द्वारा एक ही समय में सम्पन्न कार्य)

$$P_M = M\omega$$

जहाँ  $\omega$  = कोणीय वेग,  $M$  = बलाघूर्ण।

ध्याम के जिस क्षेत्र में किसी नियत नियम के अनुसार चलता

कोई बल किया जाता है, उसे बल का क्षेत्र कहते हैं। यदि बल का समय पर निर्भर नहीं करता, तो उसे स्थावर बलक्षेत्र कहते हैं।

यदि स्थावर क्षेत्र के किसी भी एक बिंदु में किसी भी दूसरे

स्थानान्तरण में बल का कार्य पथ की आकृति पर निर्भर नहीं करता। यदि दोनो बिन्दुओं की स्थिति पर निर्भर करता है तो ऐसा क्षेत्र स्थितिज क्षेत्र कहलाता है और बल छड़ बल  $\vec{F} = -\nabla U$  के द्वारा वर्णित होता है। वर्णित किया के बल-वेग (दे पृ 96) बहु बलों के उदाहरण है

घर्षण बल व प्रतिरोध बल अच्छे होते हैं, इन्हें क्षयकारी (dissipating) बल कहते हैं। किसी भी पृष्ठ के सभी आंतरिक क्षयकारी बलों का कुल कार्य सदा ऋणात्मक होता है।

स्थितिज क्षेत्र में भिन्न बिन्दुओं  $B$  में किसी एक स्थिर बिन्दु  $A$  तक कण के स्थानान्तरण में जो कार्य सम्पन्न होता है, वे सिर्फ  $B$  बिन्दुओं के विद्यमान दिशा पर निर्भर करते हैं। फलन  $U(r)$ , जो सिर्फ  $r$  पर निर्भर करता है और स्थितिज क्षेत्र में कण के स्थानान्तरण में सम्पन्न कार्य  $A$  निर्धारित करता है। दिये हुए क्षेत्र में उस कण की स्थितिज ऊर्जा कहलाता है। स्थितिज ऊर्जा फलन की स्थिर राशियों तक की परिशुद्धता में निर्भरता की जाती है। स्थितिज क्षेत्र में बल द्वारा सम्पन्न कार्य कण की स्थिति

आरम्भिक व अन्तिम स्थितियों में) स्थितिज ऊर्जाओं के अन्तर के बराबर होता है।

यांत्रिक ऊर्जा का एक दूसरा प्रकार है—गतिज ऊर्जा। गतिज ऊर्जा उस कार्य से निर्धारित होने वाली भौतिक राशि है, जिसे वल गतिमान पिंड को शक्ति में सम्पन्न करना है। गतिज ऊर्जा यांत्रिक गति की परिमाणान्तरक माप बताती है वह सार्वभौमिक वेग पर निर्भर करती है। वेग  $v$  के बहुत कम होने पर (जब अनुपात  $v/c = \beta$  का मान इकाई से बहुत कम होता है;  $c$ —निर्वात में प्रकाश-वेग), गतिज ऊर्जा (काइनेटिक एनर्जी)

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad (1.56)$$

जहां  $m_0$ —पिंड का स्थैर्य द्रव्यमान। वेग अधिक होने पर, जब  $\beta$  का मान इकाई के निकट पहुँचने लगता है गतिज ऊर्जा

$$E_k = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (1.57)$$

यूह में उपस्थित सभी कणों की गतिज व स्थितिज ऊर्जाओं का योगफल यूह की पूर्ण यांत्रिक ऊर्जा कहलाता है

यूह की यांत्रिक ऊर्जा में परिवर्तन सभी बाह्य बलों और सभी आन्तरिक क्षयकारी बलों द्वारा सम्पन्न कार्यों के बीजगणितीय योगफल के बराबर होता है

$$E_2 - E_1 = A + A_1 \quad (1.58)$$

जहां  $E_2$ —यूह की ऊर्जा का अन्तिम मान,  $E_1$ —उसकी आरम्भिक ऊर्जा,  $A$ —बाह्य बलों द्वारा सम्पन्न कार्य,  $A_1$ —आन्तरिक क्षयकारी बलों का कुल कार्य (जो सदा ऋणान्तरक है)।

**यांत्रिक ऊर्जा के संरक्षण का नियम :** जड़त्वी मापनत्र में क्षयकारी बल से विहीन सवृत यूह की यांत्रिक ऊर्जा सभी गति-प्रक्रियाओं में स्थिर रहती है।

सर्वसाधारण स्थिति में ऊर्जा गति के न सिर्फ यांत्रिक, बल्कि सभी भिन्न रूपों के लिए एकमात्र परिमाणान्तरक माप है। ऊर्जा-संरक्षण का नियम ऊर्जा के सभी रूपों के लिए एक मूलभूत प्राकृतिक नियम है, अर्थात् ऊर्जा के

सभी रूपा जैसे यांत्रिक ऊर्जा, आन्तरिक ऊर्जा (दे पृ 61), नाभिकीय ऊर्जा (दे पृ 252) आदि—पर लागू होता है।

ऊर्जा की न तो सृष्टि होती है न उसका नाश ही, वह एक रूप में दूसरे रूप में परिणत हो सकती है। अर्थात्  $n$  भिन्न भागों के बीच ऊर्जा का विनिमय सम्भव है

पिंड की गतिज ऊर्जा

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1.59)$$

जहां  $m$ —पिंड का द्रव्यमान,  $v$ —उसका वेग।

घूर्णनरत पिंड की गतिज ऊर्जा

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2, \quad (1.60)$$

जहां  $I$ —जड़त्वाघूर्ण,  $\omega$ —कोणीय वेग।

पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण-क्षेत्र में पिंड की स्थितिज ऊर्जा

$$E_p = -\gamma \frac{Mm}{R}, \quad (1.61)$$

जहां  $\gamma$ —गुरुत्वी स्थिरांक (दे पृ 22)  $M$ —पृथ्वी का द्रव्यमान,  $m$ —पिंड का द्रव्यमान,  $R$ —पृथ्वी के केंद्र से पिंड के गुरुत्व-केंद्र की दूरी।

भौतिकी में आकर्षण-बलों की स्थितिज ऊर्जा को ऋणान्तरक और विकर्षण-बलों की स्थितिज ऊर्जा को धनात्मक मानने की परम्परा है, इसीलिये समीकरण (1.61) में दायाँ व्यंजन के पहले ऋण चिह्न लगाया गया है।

पिंड का धरातल से छाटी-माटी दूरियों पर जाने वक्त पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण-क्षेत्र को समांगी माना जा सकता है (स्वतन्त्र अभिपानन का त्वरण मान व दिशा में स्थिर रहना है)। समांगी क्षेत्र में पिंड की स्थितिज ऊर्जा होगी

$$E_p = mgh \quad (1.62)$$

जहां  $m$ —पिंड का द्रव्यमान,  $g$ —स्वतन्त्र अभिपानन का त्वरण,  $h$ —पिंड की उस स्तर (मतल) से ऊँचाई, जिस पर स्थितिज ऊर्जा धन्य मान ली



पार्श्व १। प्रशिक्षण के लिए ऐम स्तर के रूप में पृथ्वी का तल लिया जा

महर्षिः १, अमरः न )

द्वितीय नियम काय की इकाई जूल (J), शक्ति की इकाई वाट (W) है।  
 1. शक्ति काय कहते हैं, जिसे 1 N का बल पिष्ट को अग्रगामी गति से  
 m मीटरांतरित करके संपन्न करता है। 1 W ऐसी शक्ति को कहते हैं  
 जिससे 1 J कार्य संपन्न होता है।

माध्यम 5. ठोस पिंडों के घनत्व ( $20^{\circ}\text{C}$  पर)

द्रव्य	$\rho, \text{Mg/m}^3$	द्रव्य	$\rho, \text{Mg/m}^3$
धातु, मिश्र धातु, अर्धचालक		वेम नालाय	86
बलमीनियम	27	वेमडूर	82.33
बलमा	727.1	ब्लूडानियम	19.25
कालोरा	18.98	नैतियम	91.46
रसा	8739	वियम	91
रसा	88	सुयनीनियम	176
कोमियम	715	वेमनोन	83
बर्मोनियम	33	मोलिब्डेनम	102
बलमा	713	यूरेनियम	19
त्रिकोर्नियम	6.5	रजत	19.3
बलमा	19.34	लोहा	788
बलमा	166	लोहा, बलवा	70
बलमा	45	वैनेडियम	602
बलमा	721	मिलियन	23
बलमा	279	मीसा	1135
बलमा	813	सुयनीनियम	887
बलमा	1186	माडियम	0975
बलमा	1171	कोला	1931
बलमा	89	लकडी (बाल-शुष्क)	
बलमा	877	अक्कोर	1017
बलमा	857	अक्कोर	1113
बलमा	8487		

अवयव	g Mg/in <sup>3</sup>	g Mg/in <sup>3</sup>
रसायन तालिका	1114	समय
कोयला	0.41	रसायन तालिका, परतलाल
दवा	0.01	रसायन तालिका
बॉम	0.4	
बॉम	0.2	रसायन तालिका
बोझ (बोझ)	0.7	रसायन तालिका
महाश्व (बाल लाल), देश	0.0-0.6	रसायन तालिका
भाई बाल, बोझ	0.7-0.9	रसायन तालिका
<b>खनिज</b>		
बाल	2.6-3.2	रसायन तालिका
गंगा	3.16-3.22	रसायन तालिका
गंगा	2.35-2.6	रसायन तालिका
कोयला	2.54-2.60	रसायन तालिका
कोयला	2.6-2.8	रसायन तालिका
कोयला	4.0	रसायन तालिका
कोयला	2.65	रसायन तालिका
कोयला	2.21-2.25	रसायन तालिका
कोयला	2.67-2.72	रसायन तालिका
कोयला	4.48	रसायन तालिका
कोयला	3.51	रसायन तालिका
<b>गोल-बट्ट (rocks)</b>		
गोल-बट्ट (गोल)	1.2-1.5	रसायन तालिका
गोल-बट्ट (गोल-गोल)	0.0	रसायन तालिका
गोल-बट्ट	2.5-3.0	रसायन तालिका
गोल-बट्ट	2.5-2.7	रसायन तालिका
गोल-बट्ट	2.5-2.7	रसायन तालिका

सारणी 6. द्रवों के घनत्व (20°C पर)

द्रव	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$	द्रव	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$
जल	1.000	निल वनस्पति तेल	0.92
नैऋतिक	1.51	(पेट्रोलियम)	
पारमिक	1.22	हृष (ऑक्सीजन वरीयता)	1.03
सल्फूरिक	1.83	नाइट्रोक्लोरोफॉर्म	1.49
हाइड्रोक्लोरिक	1.18	हाइड्रोक्लोरिक	1.18
(30%)			
अमोनियम हाइड्रॉक्साइड	0.79	जल (D <sub>2</sub> O)	1.10
मिटल	0.79	समस्त	1.01-1.03
मोनोक्लोर	1.02	पारा	13.6
मोनोक्लोर	0.71	ब्रॉम	3.1
ब्रोमोफॉर्म	1.49	क्लोरोफॉर्म	1.49
क्लोरोफॉर्म	1.49	क्लोरोफॉर्म	1.49
हाइड्रोजन	0.000089	हाइड्रोजन	0.000089
ऑक्सीजन	0.001429	ऑक्सीजन	0.001429

सारणी 7. द्रव-अवस्था में धातुओं के घनत्व

द्रव	संयोजक	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$	द्रव	संयोजक	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$
जल	0.998	2.70	जल	0.998	2.70
टिन	400	6.334	सम	400	6.334
574	6.729		600	6.729	
704	6.740		1000	6.740	
पाटोशियम	0.87	0.87	पाटोशियम	0.87	0.87
बिस्मथ	3.80	10.3	बिस्मथ	3.80	10.3
6.00	10.3		4.00	10.3	
9.02	10.3		7.00	10.3	
जल	0.998	0.998	जल	0.998	0.998
0.998	0.998		0.998	0.998	
3.73	0.998		3.73	0.998	

सारणी 8. भिन्न तापक्रम पर जल तथा पारा के घनत्व

t, °C	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$	t, °C	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$	t, °C	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$	t, °C	$\rho$ , $\text{Mg m}^{-3}$
0	0.99984	10	0.99970	20	0.99821	30	0.99565
5	0.99997	15	0.99901	25	0.99704	35	0.99321
10	0.99970	20	0.99704	30	0.99321	40	0.98806
15	0.99901	25	0.99704	35	0.99321	45	0.98670
20	0.99821	30	0.99321	40	0.98806	50	0.98035
25	0.99704	35	0.99321	45	0.98670	55	0.97527
30	0.99565	40	0.98806	50	0.98035	60	0.96865
35	0.99321	45	0.98670	55	0.97527	65	0.95645
40	0.98806	50	0.98035	60	0.96865	70	0.94368
45	0.98670	55	0.97527	65	0.95645	75	0.92895
50	0.98035	60	0.96865	70	0.94368	80	0.91470
55	0.97527	65	0.95645	75	0.92895	85	0.89065
60	0.96865	70	0.94368	80	0.91470	90	0.87199
65	0.95645	75	0.92895	85	0.89065	95	0.82999
70	0.94368	80	0.89065	90	0.87199	100	0.80199
75	0.92895	85	0.89065	95	0.82999		
80	0.91470	90	0.87199				
85	0.89065	95	0.82999				
90	0.87199						
95	0.82999						
100	0.80199						

\* न्यूनतम त्रुटि: 0.0001

सारणी 9. गैसों व वाष्पों के घनत्व

(1 atm वायुमंडलीय दबाव पर)

द्रव	$\rho$ , $\text{kg m}^{-3}$	द्रव	$\rho$ , $\text{kg m}^{-3}$
जल	0.998	जल	1.293
ऑक्सीजन	1.429	ऑक्सीजन	1.429
कार्बन	1.783	कार्बन	1.783
नैट्रोजन	1.250	नैट्रोजन	1.250
हाइड्रोजन	0.0899	हाइड्रोजन	0.0899
क्लोरोफॉर्म	1.49	क्लोरोफॉर्म	1.49
बिस्मथ	10.3	बिस्मथ	10.3
सम	400	सम	400
पाटोशियम	0.87	पाटोशियम	0.87
जल	0.998	जल	0.998
0.998	0.998	0.998	0.998
3.73	0.998	3.73	0.998

\* न्यूनतम त्रुटि: 0.0001

सारणी 10. उत्पादनों के आयतनी घनत्व ( $\rho_V$ )

$\rho_V$ , kg. m <sup>-3</sup>	द्रव्य	$\rho_V$ , kg. m <sup>-3</sup>
शाम (का बैर)	दीवार, मुँह छूटों की	1600-1700
बंस्काल	धातुमय, भट्टी का	900-1300
ऊनी लमदा	—, बालकटोरी का	600-800
पस्चरुम का बागल	पञ्चाल, लामा	50
लमदा	— संघटित	1.0
ककीट, छड़दार (प्रचलित)	फोन फीमेलहीट्टाड यमिया	20 से अधिक नदी
जड़ता भार का 8%	का (unipora)	
— धातुमय का	उपके के फाट लामा बिरे ह	1.0-1.5
शामला भार का 10%	— — संघटित	300-400
चलित	बालुका पत्थर	2000
रोडुदार	बाल	1200-1600
आदता भार का 8%	मकई (दान)	750
सुखा	मटर	700
कपडा, ऊनी	मिट्टी के बिकनी	1600-2000
— चौड़े अर्ज का मोटिया	आदता भार का	
नकश	15-20%	
सुखा (चर्ण)	कई धान अमर	
संदे की लामर	गड्ढा, बाल अमर	40
मकला संघटित	मिलक	100
मकई का	4 मीट (पाउडर)	400
दवाइ मिलकट की		
हो की		

सारणी 11. समांगी पिंडों के जड़त्वाघूर्ण

पिंड	गुरुत्व का बिंदु	$I$
1. बंद वृत्त पत्राण छड़	छड़ के मध्य के बिंदु पर	$\frac{1}{12} ml^2$
2. विज्या वाला डिस्क या चक्र	उसके समांगी के अभिलंब से गुजरने वाले बिंदु पर	
3. विज्या का गोला	उसके व्यास के मध्य गगान बिंदु पर है	$\frac{1}{2} mr^2$
4. विज्या की पतली दीवारों वाली नली या छल्ला	नली के अक्ष के साथ समांगी गुजरता है	$m r^2$
5. विज्या व लंबाई वाला गोल बेलन	बेलन के अक्ष के अभिलंब उसमें मध्य से गुजरता है	$m \left( \frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right)$
6. समकोणिक समांतरांतर पट फलक जिसके माप हैं $a, b, c$	केंद्र से होकर $2a$ लंबाई वाली किराया से गुजरता है	$\frac{m}{3} (b^2 + c^2)$

टिप्पणी :—सारणी में जड़त्वाघूर्ण पिंडों के गुरुत्व केंद्र से गुजरने वाले अक्ष के सापेक्ष दिये गये हैं। किसी अन्य अक्ष के सापेक्ष जड़त्वाघूर्ण सूत्र (1.30) से ज्ञात किये जा सकते हैं। उदाहरणार्थ पतले छड़ के सिरे से छड़ के अभिलंब गुजरने वाले अक्ष के सापेक्ष छड़ का जड़त्वाघूर्ण होगा

$$I = \frac{1}{12} ml^2 + \frac{1}{4} ml^2 = \frac{1}{3} ml^2$$

मात्रणी 12. भिन्न द्रव्यों के परस्पर फिसलन में घर्षण-गुणांक

स्पर्शमान सतहें	$f$
इस्पात—इस्पात पर	0.18
अन्य लोह पर	0.16
रबर पर (स्केट के गुत्ते)	0.62-0.63
लोह पर	0.9
इस्पात (या इलवा लोहा) फेराडो* व राइबस्ट* पर	0.25-0.45
इस्पातों टायर वाला चक्का इस्पात की पटरों पर	0.16
हिमा इस्पात पर	0.18
हिमा हिमा पर	0.2
चमड़े का बेल्ट—बलूत (की लकड़ी) पर	0.27-0.38
चमड़े का बेल्ट व लकड़ी या लकड़ी पर	0.23
हिमा हिमा पर	0.36
हिमा हिमा पर	0.16
इलवा लोहा—हिमा पर	0.21
हिमा हिमा पर	0.16
लकड़ी लकड़ी पर	0.27
लोहा लोहा—बलूत पर	0.24-0.25
लोहा लोहा पर	0.5-0.6
फ्लोरो प्लास्टिक-4 (टफोन) फ्लोरो प्लास्टिक पर	0.052-0.086
फ्लोरो प्लास्टिक—स्टेनलस स्टील पर	0.064-0.080
बर्फ बर्फ पर	0.028
बर्फ बर्फ पर	
रेखा रेखा पर	0.45
एक के रेखा के अनुप्रस्थ व दूसरे के अनुप्रस्थ	0.34
चुंबाक, समरुवा (स्नेहन)	0.02-0.08
गवड़ा (टायर) कठोर जमीन पर	0.4-0.6
—इलवा लोहा पर	0.33
गवड़ा सड़क की भीगी बलूत पर	0.33
गवड़ा गवड़ा पर	0.53
चमड़े का पट्टा (नाक बैंड), बर्फ पर फिसलन के लिये	0.35
बड़ी लोहे की पत्ती बड़ी	0.02
लकड़ी लकड़ी—लकड़ी पर	0.25-0.5

निर्णायक : सामक-विहित द्रव्य के तथ्या घर्षण प्रयुक्त करने वाले अन्य उपकरणों से नाप जाते हैं

मात्रणी 13. सागर-स्तर पर भिन्न अक्षांशों के लिये पाचित गुहृवाकर्षण-क्षेत्र की तीव्रता (स्वतंत्र अभिप्रायन के त्वरण) के मान

अक्षांश	$g$ m/s <sup>2</sup>	अक्षांश	$g$ m/s <sup>2</sup>
0°	9.78030	55° 45' (माध्य)	9.725
10°	9.78136	55° 57' (माध्य)	9.725
20°	9.78634	60	9.714
30°	9.79321	75	9.646
40°	9.80166	80	
50°	9.81066	90	

मात्रणी 14. ग्रहों के प्रवेगिक लच्छक

$D$ —ग्रह से दूरी,  $R$ —विप्लव रेखा पर ग्रह की त्रिज्या,  $\rho$ —ग्रह के द्रव्य का घनत्व,  $g$ —ग्रह की सतह पर स्वतंत्र अभिप्रायन का त्वरण,  $M$ —ग्रह का द्रव्यमान,

आकाशीय पिंड	$D$ 10 <sup>10</sup> m	$R$ 10 <sup>6</sup> m	$\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	$g$ m/s <sup>2</sup>	$M$ 10 <sup>24</sup> kg
सूर्य		190	1.4	274	1.99
बुध	5.79	2.43	5.59	3.72	0.33
शुक्र	10.8	6.05	5.22	8.69	4.87
पृथ्वी	14.96	6.37	5.52	9.78	5.976
मंगल	22.8	3.39	3.97	3.72	0.645
बृहस्पति	77.8	70.85	1.30	23.91	1.499.3
शनि	142.7	60	0.71	9.44	56.4
युरेनस	286.9	24.6	1.47	9.67	86.0
नेपच्युन	449.7	23.5	2.27	15.0	1.3
प्लूटो	594.7	2.2	10.4	8.0	1.1
चांद्र (पृथ्वी का उपग्रह)	0.05844 (पृथ्वी से)	1.737	3.34	1.62	0.00735



## C. ठोस पिंडों की स्थैतिकी

### मूल अवधारणाएं और नियम

स्थैतिकी पिंड (या पिंडों के व्यूह) के संतुलन की परिस्थितियों का अध्ययन करती है। यदि पिंड पर कई बल लगे हैं जिनकी दिशाएँ एक बिंदु पर एक-दूसरे को काटती हैं, तो पिंड तभी स्थिरावस्था में रह सकता है जब उन बलों का सदिष्ट योगफल शून्य के बराबर होता है। इसकी पर्याय बिंदु का इसकी क्रिया रेखा पर कहीं भी रख सकते हैं।

पिंड या कई पिंडों के व्यूह का गुरुत्व-केंद्र कणों के किसी भी व्यूह में एक विशेष बिंदु होता है, जो विषय निर्दिष्ट

$$r_c = \frac{1}{M} \sum m_i r_i \quad (6.1)$$

द्वारा निर्धारित होता है जहाँ  $M$  व  $r_i$  कणों के द्रव्यमान व विषय-निर्दिष्ट  $O$  से  $m_i$  पर व्यूह का द्रव्यमान है। इस बिंदु विशेष का जड़त्व केंद्र या द्रव्यमान केंद्र कहते हैं।

गुरुत्व-केंद्र एक ऐसा बिंदु है जिस पर पिंड (या व्यूह) के जड़त्व-जड़त्व कणों पर क्रियाशील सभी गुरुत्व-बलों का परिणामी बल लगता है। गुरुत्व केंद्र के सापेक्ष पिंड के सभी कणों के गुरुत्व-बलों के आघातों का योग शून्य के बराबर होता है।

गुरुत्व बलों के समागो (सम सर्वत्र या एकरम) क्षेत्र में द्रव्यमान व द्रव्यमान केंद्र संपात करते हैं (एक ही बिंदु पर होते हैं)।

**पिंडों के संतुलन के प्रकार** यदि संतुलन की स्थिति में पिंड को थोड़ा बहुत ऊपर उछाले जाएँ पर (पर्याप्त अल्प विचलन होने पर) पिंड की आरंभिक स्थिति में लौटाने की प्रवृत्ति रखने वाला कार्य बल उत्पन्न हो जाय तो उसे संतुलन को **स्थायी संतुलन** कहते हैं।

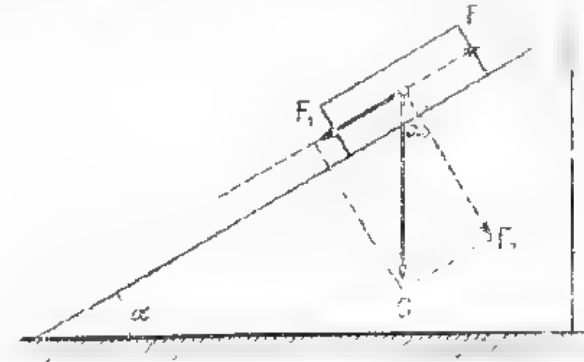
स्थायी संतुलन में स्थिर पिंड अपनी स्थिति में अल्प खलन (स्थानांतरण) के प्रभाव में संतुलन की स्थिति के सापेक्ष अल्प आयाम के साथ दोलन करने लगता है। यह दोलन घर्षण के कारण धीरे-धीरे रुक जाता है। (नोट: नोट या क्षयमान दावेन, पृ. 1.57) और संतुलन पुनः स्थापित हो जाता है।

स्थायी संतुलन की स्थिति में पिंड को थोड़ा थोड़ा ऊपर अल्पतम मान सकते हैं (खुद बल की क्रिया व प्रतिक्रिया)।

यदि संतुलन की स्थिति में पिंड को थोड़ा थोड़ा नीचे अल्पतम मान दें तो पिंड को और बड़ा करने वाली बल उत्पन्न होती है, तो ऐसा संतुलन **अस्थायी संतुलन** कहलाता है।

**उदासीन संतुलन** में स्थिति में पिंड को थोड़ा थोड़ा ऊपर अल्पतम मान दें तो पिंड को और बड़ा करने वाली बल उत्पन्न होती है और जल में तैरता हुआ तैराकिया स्थिति होता है।

नत तल पर पिंड के संतुलन की परिस्थिति का चित्र 9 में दिखाया है। साथ ही  $\alpha$  घटाने वाले नत तल पर पिंड को थोड़ा थोड़ा ऊपर अल्पतम मान दें तो पिंड को और बड़ा करने वाली बल उत्पन्न होती है, जिसका मान  $F_1 = G \sin \alpha$  होता है। चाहिये और  $F_1 = G \sin \alpha$  होना चाहिये बल  $F_1$  को  $G \sin \alpha$  के बराबर रखें।

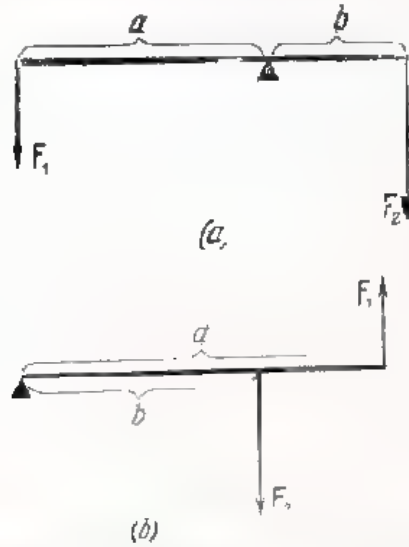


चित्र 9। नत तल पर पिंड का संतुलन,  $F_1 = mg \sin \alpha$  गुरुत्व-बल (भार),

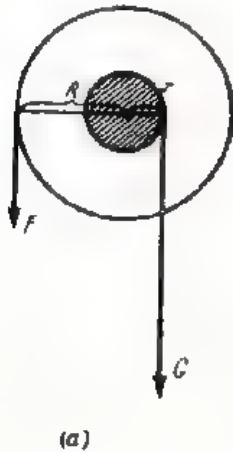
नत तल ऊपर की ओर हानी चाहिये (चित्र 9)। इस स्थिति में पिंड नत तल का घूर्णन  $F_2 = G \cos \alpha$  में आता है और नत तल भी पिंड पर इस ही बल से क्रिया करता है।

स्वतंत्र पड़ता हुआ पिंड नत तल पर तब तक स्थिरावस्था में रहेगा, जब तक उसे लुढ़काने वाला बल स्थैतिक घर्षण के घर्षण-बल से अधिक नहीं हो जायगा। ऐसा तब होगा जब  $f_{\text{st}} \alpha > f_{\text{sl}}$  होगा, जहाँ  $f_{\text{sl}} = \text{स्थैतिक घर्षण-गुणांक}$  (स्थैतिक घर्षण-गुणांक)।

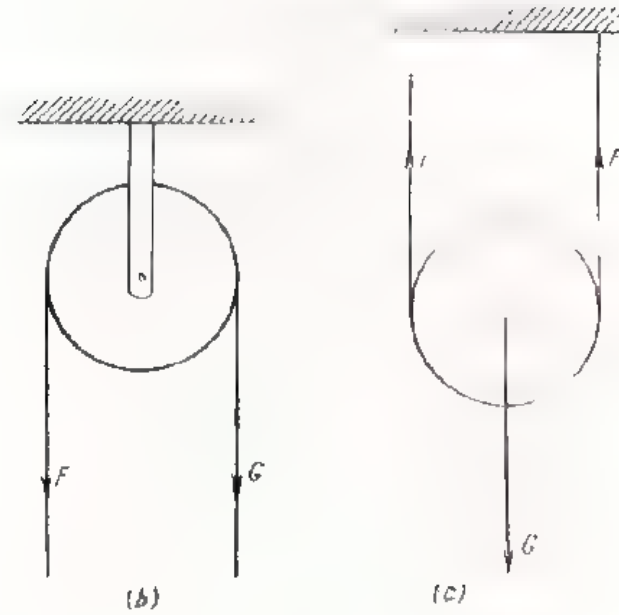
हई धरा (या खसोख) के समुलन मे होने के नियम आवश्यक है कि ग 1 र क्रियाशील बना के आघूर्ण का योग शून्य बनकर रहे (चित्र 10).



विषय 10. अज्ञानक,  $a$ —दृक्-विद अज्ञानक, पर जगत् प्रकाश क. किया जाता है,  $b$ —  
म है,  $b$ —यज्ञा क किया विद-दृक् क जगत् आर है



चित्र ११. d. पत्थर नमूना की आकृति ।



चित्र 11 b—स्थिर घरेलू और c. मजिमान घरेलू

अथानि

$$I_1 a = I_2 b \quad (1)$$

जहाँ  $a$  व  $b$  वल  $F_1$  व  $F_2$  की भुजाएँ हैं (च. मू. 19) ।

प्रमाणों का दबावर होता प्रान्त सरकार के समुजन के लिये भी आवश्यक  
ज्ञान है (चित्र 1.4)।

घोरी अवल घोरा (चित्र 11b) मिर्च क्यारील बल की दिशा बदलन के काम आती है।

बल घीरी (चित्र 11c) में बल-लाभ भी मिलता है। स्थिर (कवी)

कृत्तव्य पालन करने के लिये एक उपकरण, एक ही अक्ष पर गति चलाने के लिये  
नवरा रखा जाता है, जो उस का व्यास केन्द्र के व्यास से कम होता है। चक्के की कितनी  
जड़ता हो-एक एक उसे घमाने से चलने के साथ क्षीय क्षमता घटने पर निकलता है,  
बलियाँ या उपर उठाने लगती हैं।—अन्त,

## समस्त भौतिकी निर्देशिका

है। या  $G + 2F = 0$  मान में घणनरत चल धारी पर प्रत्याशाल सभी बल का योगफल गया। उस पर क्रियाशील सभी बलाघूर्णों का योगफल शून्य के बराबर हो।

$$G + 2F = 0$$

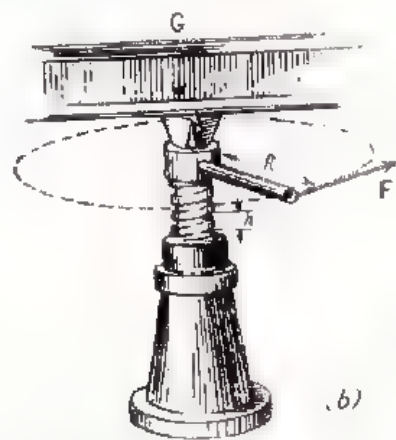
या

$$G = -2F, \text{ या } F = -\frac{1}{2} G$$

बहुधारी बहुधारी (चित्र 12a) चल व अचल धीरियों का ध्रुव है जो एक ही विन्यास द्वारा जुड़े होते हैं। यदि बहुधारी में  $m$  चल व  $n$  अचल धीरियाँ हैं, तो बल  $G$  को संतुलित करने के लिये आवश्यक बल



(a)



(b)

चित्र 12. बहुधारी (a) और पंच (b)

## यांत्रिकी

9

$$F = \frac{G}{2n}$$

की आवश्यकता पड़ेगी।

**पंच** पंच के अक्ष पर क्रियाशील बल  $G$  परमाणु की संतुलन द्वारा संतुलित होना है, जिसे हल्ले पर संतुलित गया है। (1)

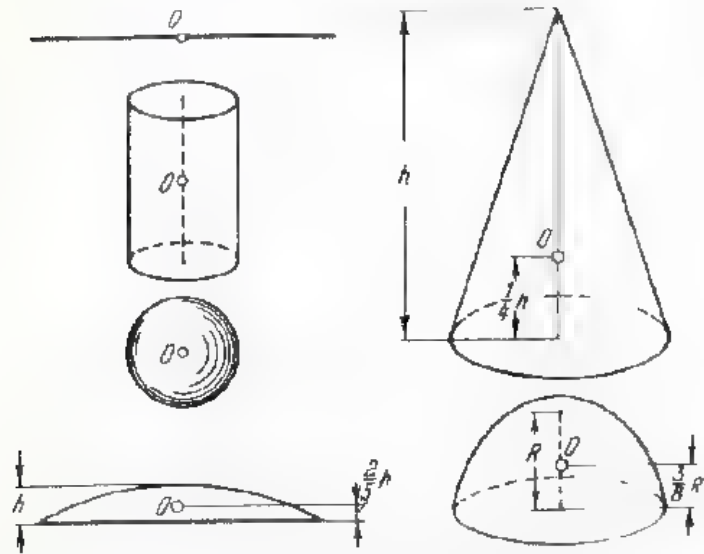
$$F = \frac{Gh}{l}$$

जहाँ  $R$ —घृणनाक्ष से  $h$  पर  $F$  प्रयत्न की दूरी,  $l$ — $G$  से  $F$  की दूरी

## यांत्रणी 15. समस्त पिंडों के गुणत्व-केंद्र

च. चित्र 15,

पिंड	गुणत्व केंद्र का स्थान
घनका छड़	छड़ के मध्य में
सूरा का प्रिज्म	घनका या प्रिज्म के आधार से कक्षा में $\frac{1}{2}$ भाग बल के मध्य में
गोला	केंद्र में
घनका व घपटा काय	सममित अक्ष पर आधार से उसकी ऊंचाई का $\frac{2}{3}$ भाग में
प्रिज्म या शंकु	शेष व आधार केंद्र का मिलान बल स्थावर पर, या $\frac{1}{3}$ से उस स्थावर के $\frac{1}{3}$ भाग ऊपर
अर्धगोला	सममित अक्ष पर, केंद्र से $\frac{3}{8}$ दिशा ऊपर
घनका त्रिकोण समतल पट्टा	मध्यस्थान का केंद्र में बिंदु



चित्र 13. नियमित ज्यामितिक रूप वाले पिंडों के गुरुत्व-केंद्र

#### D. प्रत्यास्थता-सिद्धांत के तत्त्व

##### मूल अवधारणाएँ और नियम

वाह्य बलों या अन्य कारकों (जैसे तापन) के प्रभाव से पिंड के विद्युत् के बीच की दूरी में परिवर्तन को विकृति (या अपरूपण) कहते हैं। विकृति का पिंड या उसके किसी भाग की आकृति, उसके आकार आदि में परिवर्तन द्वारा भी सिद्धांतित कर सकते हैं।

यदि वाह्य बल की क्रिया समाप्त होने पर विकृति गायब हो जाती है, तो ऐसी विकृति को **प्रत्यास्थी** कहते हैं। प्रत्यास्थी विकृति में मुक्त पिंड में प्रत्यास्थता-बल या प्रत्यास्थी बल उत्पन्न हो जाते हैं, जो पिंड के आकृति परिवर्तन में बाधा डालते हैं। प्रत्यास्थी विकृति की स्थिति में प्रत्यक्ष बल विकृति के समानुपात होते हैं (हुक का नियम)।

यदि प्रत्यास्थी बल  $F$  क्षेत्र  $S$  पर चिंतित है, तो राशि  $\sigma = F/S$  प्रतिबल (दाब) कहलाती है।

**अनुत्तोर विकृति** अक्ष के अनुत्तोर छड़ का लम्बता या सिम्बल विकृति का सरलतम रूप है। छड़ की लंबाई में परिवर्तन  $\Delta l$  और इसमें उत्पन्न प्रत्यास्थता-बल  $F$  निम्न संबंध द्वारा जुड़े होते हैं

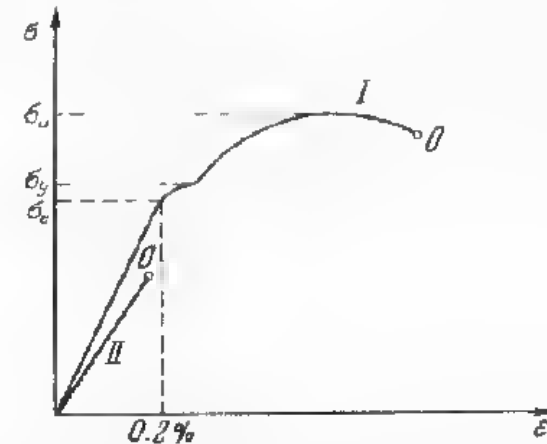
$$\Delta l \propto F/S \quad (1.64)$$

जहाँ  $S$  ब  $l$  विकृतिपूर्व छड़ के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल व उसकी लंबाई है।  $F$  मापाक में वाह्य बल का बराबर है,  $1/l$  सम लुपता-बलता गुणांक है।  $l$  को अनुत्तोर प्रत्यास्थता का मापाक या युग का मापाक  $1/l$  मानते हैं। लुपता  $\Delta l/l = \epsilon$  सापेक्षिक अनुत्तोर विकृति (या विकृति अनुत्तोर विकृति) कहलाता है।

सूत्र (1.64) हुक के नियम का अनुत्तोर विकृति के लिए प्रत्यक्ष रूप से है। अनुत्तोर विकृति के लिए हुक के नियम को निम्न रूप में लिखा जा सकता है

$$\sigma \propto \epsilon \quad (1.65)$$

युग का मापाक सापेक्षिक रूप से उस लुपता के बराबर होता है, जो लम्बर लम्बन की लंबाई को 10 गुना बढ़ा देता है। लेकिन समाना इसमें लम्बर प्रतिक्रिया पर हो टूट जाता है।



चित्र 14. सापेक्षिक अनुत्तोर विकृति पर प्रतिबल की निर्भरता। बिंदु I मुक्त बल  $F$  के लिए है, जब II समान बल के लिए बिंदु O पर बल  $F$  हो जाता है।

चित्र 14 में  $\epsilon$  पर त की प्रायोगिक निर्भरता का आकृति दिखाया गया है।

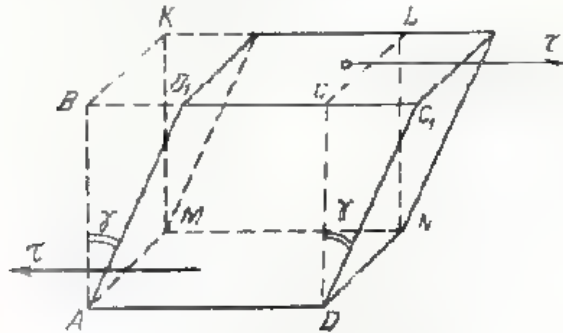


- दृष्टा सीमा अर्थात् ऐसा प्रतिबल, जिसके कारण छड़ पर स्थानीय नकारात्मक होता है (खमड़ कर सरदन सा पतला हो जाता है),
- ग. गन्ध्याता की सीमा—जिस प्रतिबल पर प्रवाहना उत्पन्न हो जाती है (विकारक बल को बढ़ाये बिना ही विकृति बढ़ते लगती है),
- घ. प्रत्यास्थता सीमा अर्थात् ऐसा प्रतिबल जिससे कम प्रतिबल होने पर हुक का नियम लागू होता है।<sup>1</sup>
- प्रत्यास्थता-मापांक उपरोक्त वक्र के रेखिक भाग के सतत-कोण की स्पर्शज्या के बराबर है (चित्र 14)।

इस भगुर होते हैं या मृत्तम्य। भगुर द्रव्य बहुत कम लमड़न में ही चूर हो जा सकता है, पर सपोडन वे कड़ी अधिक मात्रा में सहन कर सकते हैं।

अन्तोन विकृति के साथ साथ छड़ के व्यास  $d$  में भी परिवर्तन ( $\Delta d$ ) होता है (व्यास लमड़न से घटता है और सपोडन में बढ़ता है), अनुपात  $\Delta d/d = \epsilon_1$  सापेक्षिक अनुप्रस्थ विकृति कहलाता है; अनुपात  $\epsilon_1/\epsilon = \mu$  पुआसोन-नुणांक कहलाता है;  $\mu$  का मान 0.1 से 0.5 की सीमा में बदलता है।

सर्पन-विकृति विकृतिमान पिड में दो प्रकार के प्रतिबल उत्पन्न हो सकते हैं अभिलंबी और सर्पक; अभिलंबी तनाव  $\sigma$  सतह पर लवकन क्रिया करता है और सर्पक तनाव  $\tau$  सतह के समानांतर।<sup>2</sup>



चित्र 15. विकृति-वर्तन सर्पन।

1. जब समय या अत्यंत अल्प अवर्गाल में लागू माना गया है।

2. इस विकृति में पिड को सभी समानांतर परतों एक दूसरी पर सरकते सपन की प्रतीति मिलती है — अतः।

सर्पक तनावों की क्रिया में घनाकार आयतन  $ABCDKLMN$  वाले छड़ (अति अल्प) मूलान की विकृति चित्र 15 में दिखायी गयी है। अभिलंबी तनाव की अनुप्रस्थान या किनारों  $AB$ ,  $BC$  आदि की लंबाइयाँ नहीं बदलती हैं, पर फलक  $ABCD$  वर्ग में घमासपूर्ण  $AB_1C_1D$  में परिणत हो जाता है। शीर्ष  $A$  पर  $90^\circ$  का कोण था। विकृति के बाद वह  $90^\circ + \gamma$  हो जाता है और शीर्ष  $B$  पर का कोण विकृति के बाद  $90^\circ + \gamma$  के बराबर हो जाता है।

कोण  $\gamma$  अपरूपण का माप है, इसे सर्पन विकृतिमान कहते हैं। यदि विकृति मूलान की एक किनारी के स्थानान्तरण (दूसरी सतह में  $1^\circ$  घुमायी जा सके) और इन किनारियों के बीच की दूरी का अनुपात है  $BB_1/AB$  स्थानान्तरण  $BB_1$  परम सर्पन कहलाता है।

सर्पन विकृतियों के लिए हुक का नियम निम्न रूप में लिखा जाता है।

$$\tau = G\gamma \quad (1.65)$$

जहाँ  $G$ —सपन का मापांक।

द्रव्य की सपोड्यता सब तरफ से पिड का सपोडन करने में पड़ने आयतन में  $\Delta V$  की कमी का जाती है और पिड में प्रत्यास्थी बल उत्पन्न होते हैं, जो उसका आरम्भिक आयतन लौटाने की कोशिश करते हैं। दिया शील दाब  $\Delta p$  में इकाई परिवर्तन के कारण पिड के आयतन में होने वाला सापेक्षिक परिवर्तन  $\Delta V/V$  का सांख्यिक मान सपोड्यता  $\beta$  कहलाता है।

सरीड्यता की व्युत्क्रम राशि व्यौम (आयतनी) प्रत्यास्थता का मापांक  $K$  कहलाती है।

सब तरफ से दाब में  $\Delta p$  की वृद्धि के कारण पिड के आयतन में वृद्धि  $\Delta V$  निम्न सूत्र में ज्ञात किया जाता है

$$\Delta V = -3\beta \Delta p, \quad (1.67)$$

जहाँ  $V$  पिड का आरम्भिक आयतन है।

प्रत्यास्थता-स्थिरांकों के पारस्परिक संबंध युग-मापांक  $E$ , पुआसोन-गुणांक  $\mu$  व्यौम प्रत्यास्थता मापांक  $K$  और सर्पन-मापांक  $G$  निम्न समीकरणों में संबंधित हैं

$$\nu = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (168)$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)} \quad (169)$$

यदि दाब पांक ज्ञात है तो इन समीकरणों की सहायता से प्रथम मोडलिटेट में अन्वों के मान ज्ञात किये जा सकते हैं।

प्रत्यास्थ विकृति की स्थितिज ऊर्जा होगी

$$E_{st} = \frac{1}{2} F_{st} \Delta l \quad (170)$$

जहाँ  $F_{st}$  = प्रत्यास्थता-बल,  $\Delta l$  = परम विकृति। सभी प्रत्यास्थता-मापक पास्कल (Pa) में व्यक्त किये जाते हैं; यांत्रिक तनाव व दाब भी पास्कल में व्यक्त होते हैं (दे पृ. 53)।

### सारणी और ग्राफ

सारणी 16. चंद द्रव्यों की दृढ़ता-सीमाएं

द्रव्य	दृढ़ता सीमा, MPa में	
	समझ में	सपीडन में
हमपास हमारसी	374-412	
— , कार्बन युक्त	314-785	
— , Si-Cr-Mn युक्त	1520	
ईट		7.2%
परिमाणुवाइट परतदार	78	306
कक्रोट	—	4.5-54
गोटीनैक्स (परतदार कठोर गत्त)	147-167	1.4-1.7
ग्रेनाइट	2.9	14.7-15.5
जोड (15% आर्द्रता)		
रेगो के अनतीर	78	39
— — अनुप्रस्थ		4.9
पीतल काँसा	216-490	
काली लकड़ियाँ (जैव काँच)	49	1.7-6
ग्लास गीन	39	98

(सारणी 16, समाप्त)

द्रव्य	दाब सीमा MPa में	
	समझ में	सपीडन में
कमिज सास्टिक (4-10%)	1-10	—
बर्फ (0°C पर)	1	1-2
बरत (15% अर्द्रता)		
रेगो के अनतीर	9.1	4.5
— — अनुप्रस्थ		10.7
बैरलाइट (कृत्रिम खड)	1.0-1.1	—
विनील प्लास्टिक (के तहत)	3.9	6.5

सारणी 17. प्रत्यास्थता के मापक व पुआसोन का गुणांक

द्रव्य	युग मापांक GPa	सपन मापांक GPa	पुआसोन गुणांक
अनुमीनियम	13-70	25-26	0.32-0.36
इतबार	135	55	0.25*
हमपास हमारसी	20.6	80	0.25-0.30
— , कार्बन युक्त	10.5-40.5	—	0.24-0.27
— , इतबार (कल्प)	170	—	—
ग्रेनाइट	15.46	7.17	0.10-0.15
ग्रेनाइट	1.61	6.1	0.33
गत्त	40-76	17.7-29	0.2-0.3
कामा, फोस्फर युक्त	11.3	41	0.25-0.30
— , अनुमीनियम युक्त (कल्प)	103	41	0.27*
क्रेड गत्त	50	10*	0.3

संख्या 17, सम्पादन)

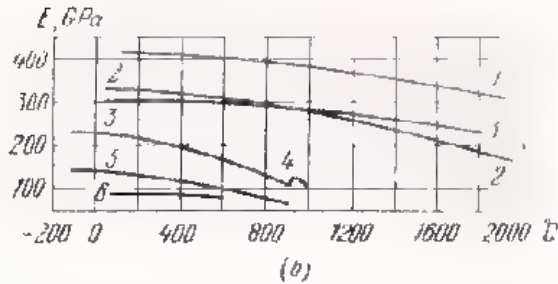
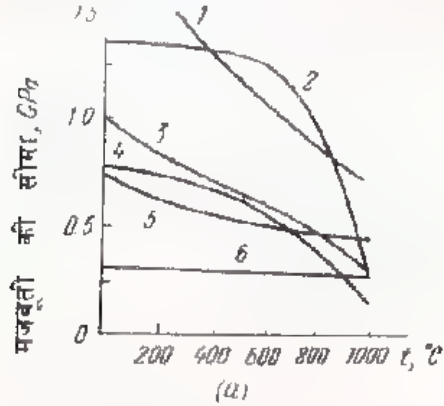
वस्तु	घनत्व (GPa)	सखलता (GPa)	संख्या
सखलता का महीन नर	31	31	1
सखलता का महीन नर	35-50	14-44	0.1-0.15
काँच	82.7	30.3	0.37*
बना घना	35	15	0.2
जस्ता, बलिन (बेल्ल)	82	31	0.27
टिटैलियम	116	44	0.32*
हुरानमीनियम, बलिन	70	26	0.31*
नाबा अलम कथिन	127	48	0.33*
— टलका	82	31	0.1-0.34
— बेलित	108	39	0.26*
निकेल	204	79	0.2-0.42
पीतल अलम कथिन	89-97	34-31	0.33
— बेल्ल (जहाज)	98	36*	0.33
बनाते को लिये	5.25	1.48	0.35*
बिन्मथ	32	12*	0.33*
प्रेसीमोन	123	46	0.33
रबर, कथिन	0.008	0.003	0.46
— बलित	0.0015-0.005	0.0005-0.0015	0.48-0.49
लोहा पिटवा (पिट)	150	—	—
— बफेट, बूरा	113-116	44	0.23-0.27
सल्लाह	1.7-1.9	1.65	0.39

\* = लिन (संक्रांतिक) मान

सारणी 18 द्रव व ठोस पिंडों की संघोड़्यता

द्रव्य	100°C	100°C	संघोड़्यता
	°C	MPa	10 <sup>11</sup> Pa <sup>-1</sup>
अंडा का तेल	11.7	—	—
एथिल अल्कोहल	20	0.1-0.5	113
—	90	90-100	3
—	180	90-100	74
एसीटिक अम्ल	25	0.3	127
एसीटोन	14.2	0.1-0.5	—
—	0	0.1-50	—
—	0	100-200	3
किरामीन	1	0.1-1.5	6.5-12
—	94	0.1-1.5	110
—	185	0.1-0.5	118
कसीमीन	10	0.1-5	75
—	100	0.1-5	33
गंधकामल	0	0.1-1.6	30.5-5
सीसीरीय	14.8	0.1-1	22-3
जैतून का तेल	20	0.1-1	64
पासी	20	0.1-10	47
—	20	50-100	38
—	180	10-20	74
—	00	50-100	61
पादा	20	0.1-1	3.36
बाँदी	20	—	—
टिन	20	—	18
तमबा	20	—	74
नाहा	20	—	150
हीरा	20	—	123

तापक्रम पर बढ़ता सोमा और युग मापांक की निर्भरता



चित्र 16. (a) तापक्रम पर बढ़ता-सोमा की निर्भरता 1—डायमंड, 2—निकल-हम्यान, 3—कोबाल्ट इस्पात, 4—इस्पात N 15.5, 5—मिश्रधातु Mn 0.5 Ti, 6—मिश्रधातु Ti 36 Al. (b) तापक्रम पर युग-मापांक की निर्भरता 1—डायमंड, 2—नोबिलिडेनम, 3—सिलिकन कार्बाइड, 4—लाइटा, 5—तांबा, 6—तांबा।

## E. तरल पिंडों की यांत्रिकी

### मूल अवधारणाएँ और नियम

आयतन स्थिर रहने पर द्रव व गैस (तरल पदार्थ) ठोस पिंडों की तरह आकृति-परिवर्तन का प्रतिरोध नहीं करते। द्रव के आयतन में परिवर्तन या गैस के आयतन में कमी लाने के लिये बाह्य बल लगाना पड़ता है। तरल पिंडों के इस गुण को आयतनी प्रत्यास्थता कहते हैं।

दाब ( $p$ ) एक ऐसी राशि है, जो इकाई क्षेत्र पर सतह के अभिलंब क्रियाशील बल द्वारा लायी जाती है। दाब की इकाई पास्कल (Pa) है।  $1 \text{ m}^2$  क्षेत्र पर जब रूप में सम सर्वत्र वितारित 1N का बल 1Pa के बराबर दाब उत्पन्न करता है।

### 1. स्थैतिशी

द्रव या गैस पर क्रियाशील बाह्य दाब सब धारा समान रूप से प्रसारित होता है (पास्कल का नियम)

सम सर्वत्र गुणवत्ताकण क्षत्र में स्थित द्रव या गैस का स्थान प्रान भार के कारण दाब उत्पन्न करता है। यदि द्रव व गैस की अत्यधिक मात्रा लिये जाये, तो यह दाब होगा

$$p = \rho gh \quad (1.1)$$

जहाँ  $p$ —द्रव या गैस का घनत्व,  $g$ —स्वनव अभिघातन की लक्षण,  $h$ —समान की ऊँचाई

दाब  $p$  स्तम्भ की आकृति पर निर्भर नहीं करता, यह स्तम्भ की आयत ऊँचाई में निर्धारित होता है

भचारी (नियमों द्वारा जुड़े हुए) बरतनों में द्रव-स्तम्भों की ऊँचाईया द्रवों के घनत्वों की व्युत्क्रमानुगती होती है

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (1.2)$$

द्रव व गैस में डूबाये गये पिंड पर एक उत्प्लावक बल लगता है, जो मान में पिंड द्वारा विस्थापित द्रव या गैस के भार के बराबर होता है (आर्किमिडिस का नियम)।

### 2. प्रवेगिकी

यदि गतिमान तरल की क्षिप्रता उस तरल में ध्वनि की क्षिप्रता में बहुत कम होती है, तो उसकी सपीड्यता की उपेक्षा की जा सकती है, तरल की गति के कारण घर्षण-बल उत्पन्न होते हैं। यदि ये बल बड़े नहीं होते, तो उन्हें नगण्य मान कर उनकी उपेक्षा की जाती है और विचारधीन तरल का आदर्श तरल की सजा दी जाती है। यदि घर्षण-बल नगण्य नहीं होते, तो विचारधीन तरल अर्थात् (व्यान, ज़िपविषा) तरल कहलाते हैं



आदर्श तरल की गति द्रव या गैस के प्रवाह को **थिर प्रवाह** कहते हैं, यदि प्रवाहधारी व्यास के हर बिंदु पर वेग व दाब स्थिर (अचल) रहते हैं।

इस स्थिति में नली के किसी भी अनुप्रस्थ काट से होकर इकाई समय में गिरने तुल्य आयतन का तरल गुजरता है।

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad (1.73)$$

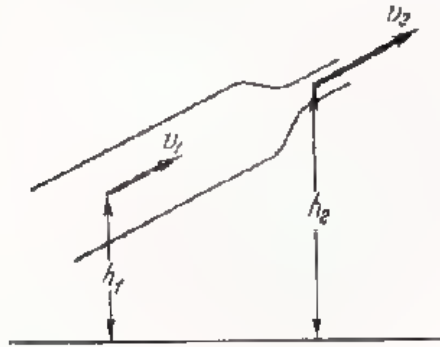
जहाँ  $S_1$  व  $S_2$  नली के दो भिन्न अनुप्रस्थ काटों के क्षेत्रफल हैं और  $v_1$  व  $v_2$  इन अनुप्रस्थ काटों पर तरल का वेग है। नली के काट में परिवर्तन के कारण गतिमान तरल के वेग में ही नहीं, दाब में भी परिवर्तन होना है। ये परिवर्तन इस प्रकार से होते हैं कि (आदर्श तरल की थिर गति में)

$$\left. \begin{aligned} p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const} \\ \text{या } p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.74)$$

जहाँ  $p$  = दाब,  $\rho$  = तरल का घनत्व,  $h$  = किसी स्तर से नली के विचाराधीन काट की ऊँचाई,  $v$  = नली के विचाराधीन काट पर तरल का वेग (चित्र 17a)

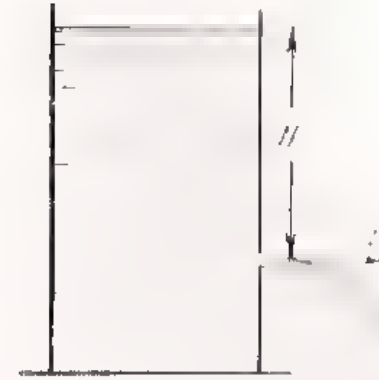
समीकरण (1.74) को **बर्नौली का समीकरण** कहते हैं। इस समीकरण से **टोरीसेली का नियम** निम्नलिखित है।

$$v^2 = 2gH, \quad (1.75)$$



(a)

चित्र 17. (a) सूत्र (1.74) का स्पष्टीकरण।



(b)

चित्र 17. (b) बड़े रज्ज से द्रव का प्रवाह।

यहाँ  $H$  = बरतन के मुँह से बहने वाले तरल के कणों का वेग  $H$  तक गिराए तरल के स्तर की ऊँचाई (चित्र 17b)।

**स्थान तरल की गति** तरल (द्रव या गैस) में गतिमान पिंड (जैसे गोला) के साथ तरल की निकटवर्ती परतें चिपक जाया करती हैं और अन्य परतें एक-दूसरे के सापेक्ष फिसलती रहती हैं। स्थान माध्यम (द्रव या गैस) में गतिमान ठोस पिंड पर उसके वेग के विपरीत लागू बल माध्यम का प्रतिरोध कहलाता है। यदि गति के कारण पिंड के पीछे-पीछे भ्रंश नहीं बनते, तो माध्यम का प्रतिरोध पिंड के वेग  $v$  का समानुपाती होगा। विशेषतः  $R$  त्रिज्या वाले गोले के लिए माध्यम का प्रतिरोध होगा

$$F = 6\pi\eta Rv \quad (1.76)$$

जहाँ  $\eta$  — आंतरिक घर्षण का गुणांक (दे पृ. 68) या **स्पष्टता**।

आंतरिक घर्षण का गुणांक की इकाई पास्कल-सेकंड (Pa s) है (दे पृ. 68), संबंध (1.76) को **स्टोक्स का सूत्र** कहते हैं।

स्थान तरल में छोटी सी गोली के समरूपता से गिरने का वेग निम्न सूत्र द्वारा निर्धारित होता है

$$v = g \frac{\rho - \rho_{fl}}{\eta} \frac{2R^2}{9} \quad (1.77)$$

जहाँ  $\rho$  = गोली का घनत्व,  $R$  = उसकी त्रिज्या,  $\rho_{fl}$  = तरल का घनत्व,  $\eta$  = उसकी स्पष्टता,  $g$  = स्वतंत्र अभिपतन का त्वरण।

$R$  विद्युत और  $l$  लंबाई वाली कैथोडा (काथोड) के सिरे पर दाब  $p_1$ ,  $p_2$  होने पर कैथोडा से प्रति इकाई समय बहने वाले तरल का आयतन  $V$  है।

$$V = \frac{1}{\eta} \frac{\pi R^3}{8l} (p_1 - p_2) \quad (178)$$

तरल (द्रव या गैस) की स्थानता बहुत हद तक नमूने पर निर्भर करती है।

### सारणी

सारणी 19. द्रवों की स्थानता

(18 °C पर)

द्रव्य	$\eta$ , 10 <sup>-5</sup> Pa's	द्रव्य	$\eta$ , 10 <sup>-5</sup> Pa's
खिल ईश्वर	0.0238	तेल, जड़ का	120.1
परिष्कृत अक्साइल	0.122	—, पेशीय भारी	1.1
पानी का	0.46	—, —, हल्का	1.3
एथेनॉल	0.0337	पानी	0.011
ग्लिसरिक अम्ल	0.127	ग्लिस	0.156
कार्बन ट्रायक्लोराइड	0.0582	पेट्रोल	0.0944
क्लोरोफॉर्म	0.0579	बजेल	0.671
क्लोरीन	0.0647	ब्रोमीन	0.102
मैथिलीन	139.9	ग्लिसोल, आयल काला	240
टोलुएन	0.163	—, जलिल	1.9
		40 °C	

सारणी 20. गैसों की स्थानता

साधारण परिस्थितियाँ में

द्रव्य	$\eta$ , 10 <sup>-5</sup> Pa's	द्रव्य	$\eta$ , 10 <sup>-5</sup> Pa's
कार्बोना	0.93	नाइट्रोजन	1.57
हाइड्रोजन	1.92	—, मिलावट	1.72
कार्बन डाइक्साइड	1.40	मिथेन	0.4
मोनोक्साइड	1.67	हवा (CO <sub>2</sub> रहित)	7
ऑक्सीजन	1.29	हाइड्रोजन	0.64
1:1 मिश्रण हाइड्रोजन या मीथेन	1.38	हालोजन	1.86

सारणी 21. विभिन्न तापक्रमों पर पानी की स्थानता

(10<sup>-5</sup> Pa's)

ताप	स्थानता	ताप	स्थानता	ताप	स्थानता
0 °C	0.010	20 °C	0.010	40 °C	0.010
10 °C	0.010	30 °C	0.010	50 °C	0.010
20 °C	0.010	40 °C	0.010	60 °C	0.010
30 °C	0.010	50 °C	0.010	70 °C	0.010
40 °C	0.010	60 °C	0.010	80 °C	0.010
50 °C	0.010	70 °C	0.010	90 °C	0.010
60 °C	0.010	80 °C	0.010	100 °C	0.010

सारणी 22. विभिन्न तापक्रमों पर पानी की स्थानता

ताप	स्थानता	ताप	स्थानता	ताप	स्थानता
0 °C	0.010	20 °C	0.010	40 °C	0.010
10 °C	0.010	30 °C	0.010	50 °C	0.010
20 °C	0.010	40 °C	0.010	60 °C	0.010
30 °C	0.010	50 °C	0.010	70 °C	0.010
40 °C	0.010	60 °C	0.010	80 °C	0.010
50 °C	0.010	70 °C	0.010	90 °C	0.010
60 °C	0.010	80 °C	0.010	100 °C	0.010

सारणी 23. विभिन्न तापक्रमों पर द्रवों की स्थानता

(10<sup>-5</sup> Pa's)

द्रव्य	स्थानता	द्रव्य	स्थानता	द्रव्य	स्थानता
कार्बोना	0.93	हाइड्रोजन	1.57	कार्बन डाइक्साइड	1.40
हाइड्रोजन	1.92	मिथेन	0.4	मोनोक्साइड	1.67
कार्बन डाइक्साइड	1.40	हवा (CO <sub>2</sub> रहित)	7	ऑक्सीजन	1.29
मोनोक्साइड	1.67	हाइड्रोजन	0.64	1:1 मिश्रण हाइड्रोजन या मीथेन	1.38
ऑक्सीजन	1.29	हालोजन	1.86		

तालिका 21. द्रव-अवस्था में धातुओं की श्यानता

धातु	$t, ^\circ\text{C}$	$\eta$ mPa.s	द्रव्य	$t, ^\circ\text{C}$	$\eta$ mPa.s
सोडियम	700	2.91	सोडियम	100	0.40
	800	1.41		200	0.11
				500	0.04
जिंक	240	1.91		700	0.14
	400	1.33	बिस्मथ	304	0.07
	600	1.05		400	0.05
पायरा	20	1.54		600	0.09
	100	1.40	ताम	44	1.0
	150	1.3		100	0.9
	200	1.2		400	0.6
	300	1.0	सोडियम	100	0.40
	500	0.77		400	0.11
	600	0.74		700	0.14

## ताप

## और आण्विक

## भौतिकी

## मूल अवधारणाएं और नियम

## 1. ताप प्रवेगिकी के मूल नियम, तापसाहिता

तापकाजी की विशाल सम्या में बता हुआ पिंड (वस्तु) स्थूल व्यूह कहलाता है। स्थूल व्यूह के आकार अणुओं व परमाणुओं के अन्तर्गत तापी बड़े होते हैं। स्थूल व्यूह और परिवर्तनी पिंडों के साथ इसका तापक्रमान्तरण परमाणु परमाणु तापक भौतिक राशियों द्वारा लीखल होनी \*। ऐस परमाणुओं के उदाहरण हैं आयनन, घनत्व दाब, चुम्बकीकरण, गति

यदि समय के साथ-साथ व्यूह के परमाणु वदन्त नहीं है और साथ ही किना ब्रह्म कारण के प्रभाव में व्यूह में द्रव ताप आदि का प्रभाव नहीं पड़ता है तो ऐसी अवस्था को संतुलित अवस्था (तापप्रवेगिक संतुलन) कहलाता है।

तापप्रवेगिक संतुलन में स्थूल स्थूल व्यूह तापप्रवेगिक व्यूह कहलाता है। तापप्रवेगिक व्यूह की अवस्था को लक्षित करने वाली राशियां तापप्रवेगिक परमाणु कहलाती हैं।

यदि व्यूह का किसी अणु व्यूह के साथ द्रव्य या ताप का विलोम नहीं हो रहा है, तो यह असंपृक्त व्यूह कहलाता है। असंपृक्त व्यूह कालान्तर में तापप्रवेगिक सन्तुलन की अवस्था प्राप्त कर लेता है और इस अवस्था में स्वद-व-स्वद नहीं निकल पाता (तापप्रवेगिकी का मूल परिग्रह)। मूल परिग्रह व्यूह की सिर्फ महत्तम संभाव्य अवस्था को निर्धारित करता है क्योंकि कणिकाओं की अविराम गति सन्तुलन की अवस्था में विचलन उत्पन्न करती रहती है।

सन्तुलित व्यूह की आन्तरिक गति को लक्षित करने वाली अदृश्य राजि का नाम तापक्रम है। तापक्रम की गणना व्यूह के निष्पन्न (अर्थात्, प्रमाण पर नहीं निर्भर करने वाले) परासितकों में होती है वह अणुओं या परमाणुओं की तापीय गति की औसत गतिज ऊर्जा की भाव है (दे पृ 76)। असन्तुलित व्यूह के लिये तापक्रम की अवधारणा कोई अर्थ नहीं रखती सन्तुलित व्यूह के लिये तापक्रम के अस्तित्व के बारे में यह उक्ति तापप्रवेगिकी का दूसरा परिग्रह है।

पिंड के तापक्रम में परिवर्तन के कारण पिंड के विभिन्न गुणों में परिवर्तन हो जा सकते हैं (उसके आकार व घनत्व में उसकी प्रत्यास्थता, विद्युच्चालकता आदि में) तापप्रवेगिक पैमाने द्वारा निर्धारित तापक्रम तापप्रवेगिक तापक्रम कहलाता है।

तापप्रवेगिक तापक्रम को इकाई केल्विन (K) है। यद्यपि पानी के त्रिगुण बिंदु के तापप्रवेगिक तापक्रम का 1 273.15 अंश है। तापप्रवेगिक तापक्रमों के पैमाने पर सततता बिंदु परम शुद्ध होता है \* तापक्रम में सन्तुलन के पैमाने का प्रयोग भी स्वीकृत है। इसमें तापक्रम  $\theta$  व्यंजन  $\theta = T - T_0$  द्वारा निर्धारित होता है, जिसमें  $T_0 = 273.15 \text{ K}$  है (पारभाषा में)। माप में सन्तुलन-डिग्री और केल्विन डिग्री परस्पर बराबर होते हैं।

\* तापप्रवेगिक तापक्रम का परम तापक्रम भी कहते हैं। क. व. व. 1971 प्रकाशित इसका पैमाना 1 273.15°C में रखा जाता है (यह परम तापक्रम भी शुद्ध है)।

विद्युत-विद्युत पदों के तापक्रम का कक्षा-विद्युत है जिस पर पदों के तापक्रम में दोन-दोनों के तापक्रम रहता है। पानी का त्रिगुण-बिंदु इस  $p = 1013.25 \text{ Pa}$  पर प्राप्त होता है।

यह तापक्रमों के पैमाने पर अन्य और पानी के त्रिगुण बिंदु के तापक्रम की सीमा के अंतर का 1 273.15 अंश केल्विन के ताप में प्रकाश पाया है। अन्य

केल्विन में व्यक्त तापप्रवेगिक तापक्रम प्रतीक  $T$  द्वारा द्योतित होता है, सन्तुलन में व्यक्त तापक्रम  $\theta$  द्वारा द्योतित होता है।

व्यावहारिक उद्देश्यों के लिये तापक्रम के तापप्रवेगिक पैमाने के आधार पर 1968 में एक अंतर्राष्ट्रीय व्यावहारिक तापक्रमी पैमाना (Inter-national Practical Temperature Scale - IPTS-68) निर्धारित किया गया। इसमें 11 तापक्रम बिंदु निर्धारित किये गये थे इन बिंदुओं के तापक्रम मापनी 25 में दिये गये हैं। यदि यह दिशाना आवश्यक है कि तापक्रम IPTS-68 द्वारा निर्धारित किया गया है तो तापक्रम द्योतित करने वाले संकेत को संख्या 68 में परिवर्तित कर देता है (जैसे,  $T_{68}$  या  $\theta_{68}$ )।

पिंड (व्यूह) की आन्तरिक ऊर्जा अणुओं की बराबर गति की गतिज ऊर्जा, उनकी व्यतिक्रिया (पारस्परिक क्रिया) की स्थिर ऊर्जा और अन्तर्गणविक ऊर्जा का योगफल कहलाती है।

एक पिंड में दूसरे पिंड में ऊर्जा का आदान दो विधियों में संभव है। पहली विधि, यांत्रिक व्यतिक्रिया द्वारा जिसमें कार्य यांत्रिक या विद्युतचुंबकीय (दे अध्याय 4) बलों द्वारा संपन्न होता है। दूसरी विधि तापीय व्यतिक्रिया का जिसमें ऊर्जा का आदान अणुओं की बेतरतीब गति द्वारा तापमान (दे पृ 67) या तापीय विकिरण (दे पृ 151) के कारण होता है। पिंडों की तापीय व्यतिक्रिया में प्रदान की गयी ऊर्जा की मात्रा ताप की मात्रा (या सिर्फ ताप) कहलाती है, ताप को जूल में व्यक्त करते हैं।

द्रव्यमान  $m$  वाले किसी पिंड का तापक्रम  $\theta_0$  में  $\theta_0 + \Delta\theta$  तक बढ़ाने के लिये पिंड को ताप की  $\Delta Q$  मात्रा प्रदान करनी पड़ती है। यदि  $\Delta Q$   $m\Delta\theta$  को तापक्रम अंतराल  $(\theta - \theta_0)$  में औसत विशिष्ट तापग्राहिता कहते हैं। इस अनुपात की सीमा

$$c = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{m\Delta\theta} = \frac{dQ}{m d\theta} \quad (2)$$

परिभाषानुसार  $\theta_0$  तापक्रम पर यथार्थ विशिष्ट तापग्राहिता (या सिर्फ विशिष्ट तापग्राहिता) है, विशिष्ट तापग्राहिता तापक्रम पर निर्भर करती है। पर अधिकांशतः हम इस निर्भरता की उपेक्षा करते हैं और यह मान लेते हैं कि विशिष्ट तापग्राहिता इकाई द्रव्यमान वाले पिंड का तापक्रम  $\theta^\circ\text{C}$  में  $(\theta + 1)^\circ\text{C}$  बढ़ाने के लिये आवश्यक ताप-मात्रा के बराबर होता है ( $\theta$  का मान चाह जो हो)।

iii) द्रव्यमान  $m$  पिंड के तापक्रम से  $\Delta t$  की वृद्धि के लिये आवश्यक ताप मात्रा

$$\Delta Q = cm\Delta t \quad (2.2)$$

यहाँ  $c$  जहाँ  $c =$  विशिष्ट तापग्राहिता है।

द्रव्यों की तापग्राहिता उन्हें गर्म करने की परिस्थितियाँ पर भी निर्भर करती है। समदावीय प्रक्रिया (स्थिर दाब पर गर्म करने की स्थिति) में तापग्राहिता को स्थिर दाब पर तापग्राहिता ( $c_p$ ) कहते हैं। समघननी प्रक्रिया (स्थिर आयतन पर गर्म करने की क्रिया) में तापग्राहिता को स्थिर आयतन पर तापग्राहिता ( $c_v$ ) कहते हैं। हमेशा  $c_p > c_v$  ठोस अवस्था में द्रव्यों के लिये तापग्राहिताएँ  $c_p$  व  $c_v$  समान रूप में भिन्न होती हैं।

विशिष्ट तापग्राहिता की इकाई है जूल प्रति किलोग्राम-कैल्विन ( $J/kg \cdot K$ )।

गर्म करने पर व्यूह को प्राप्त ताप-मात्रा  $\Delta Q$  और इस क्रिया में बाह्य शक्ति द्वारा व्यूह पर संपन्न कार्य  $\Delta A$  का योगफल व्यूह की आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन  $\Delta U$  के बराबर होता है (तापप्रवेगिकी का प्रथम नियम) :

$$\Delta Q + \Delta A = \Delta U \quad (2.3)$$

आन्तरिक ऊर्जा में परिवर्तन  $\Delta U$  आर्गनिक व अतिस आवश्यकताओं पर निर्भर करता है और गर्म करने की प्रक्रिया पर नहीं निर्भर करता है।

इस पिंड से गर्म पिंड की ओर ताप का गमन व्यूह में किसी परिवर्तन के बिना संभव नहीं है (तापप्रवेगिकी का दूसरा नियम)।

प्रथम चूम्न तापक्रम की ओर जाने पर पिंड की तापग्राहिता शून्य की ओर प्रवृत्त होत लगती है (तापप्रवेगिकी का तीसरा नियम)।

## 2 प्रावस्था-संक्रमण

किसी व्यूह के उन सभी भागों को मिला जुलाकर एक प्रावस्था कहते हैं जिनके भौतिक गुण समान हों और जो विभाजक तला द्वारा घिरे हों। उदाहरण : मिल-जुल कर एक व्यूह बनाने वाले बर्फ पानी व जल-वाष्प। इन भिन्न प्रावस्थाएँ हैं, फ्रीजिंग और हीटिंग ठोस पदार्थों की दो भिन्न प्रावस्थाएँ हैं।

पदार्थ द्वारा एक प्रावस्था से दूसरी में संक्रमण प्रावस्था संक्रमण कहलाता है।

पदार्थ का क्रिस्टलिक ठोस अवस्था से द्रव में प्रावस्था-संक्रमण गलना

या पिघलना (द्रवण) कहलाता है। विपरीत दिशा में संक्रमण—द्रव अवस्था में ठोस में—क्रिस्टलीकरण कहलाता है। प्रावस्था-संक्रमण के साथ साथ ताप ही एक नियत मात्रा अवशोषित या उत्सर्जित होता है (स्थिर दाब व तापक्रम पर)। ताप की यह मात्रा प्रावस्था-संक्रमण का ताप कहलाता है।

द्रवण में प्रावस्था संक्रमण का ताप  $(\Delta Q) = \lambda m$

$$Q = \lambda m \quad (2.4)$$

होता है, जहाँ  $m$  द्रवित पदार्थ का द्रव्यमान है और  $\lambda$  द्रवण का विशिष्ट ताप—ठोस पदार्थ के इकाई द्रव्यमान का द्रवण के ताप बढ़ावा के लिये आवश्यक ताप मात्रा (द्रवण-ताप) के द्रव्यमान  $m$  का गुण-फल है। इस स्थिर तापक्रम का ही द्रवणिक ताप है, जिस पर द्रवण का ताप का संक्रमण होता है। द्रवण का ताप (संक्रमण के तापक्रम के बराबर होता है)।

यदि द्रव पदार्थ पिघलता है तो उसके आयतन में वृद्धि होती है (पानी का प्रथम गर्मीयता बढ़ा और विस्मय इसके अपवाद है, इनका आयतन घटता है)।

क्रिस्टलिक (ठोस) अवस्था में सीधे वाष्प में परिणत होने की प्रक्रिया को ऊर्ध्वपातन कहते हैं।

वाष्पावस्था में द्रव या क्रिस्टल में प्रावस्था-संक्रमण संघनन कहलाता है।

इस में वाष्प में प्रावस्था-संक्रमण वाष्पीकरण कहलाता है और इसकी प्रक्रिया वाष्प में द्रव में प्रावस्था-संक्रमण—द्रवीभवन (संघनन) कहलाता है; वाष्पीकरण यदि द्रव या ठोस पिंड की सतह मुक्त सतह से हो रहा है तो इस क्रिया को वाष्पन कहते हैं, यदि वाष्पीकरण द्रव की मुक्त सतह पर ही नहीं द्रव के भीतर भी हो रहा है, तो इस क्रिया को उबलना (क्वथन) कहते हैं। क्वथन स्थिर तापक्रम पर होता है (स्थिर बाह्य दाब की परिस्थिति में)। इस तापक्रम को क्वथनांक कहते हैं। दाब में परिवर्तन

प्रक्रिया में ताप व तापक्रम के बारे में जो कुछ भी कहा गया है, वह क्रिस्टलिक व क्रिस्टलीय अवस्था के लिये सत्य है। क्रिस्टलिक ठोस में ताप का भिन्न भिन्न भिन्न भिन्न होता है। क्वथनांक ताप निर्धारक अन्य सुक्ष्म प्रक्रिया से निर्धारित होता है। प्रक्रिया क्रिस्टलिक प्रक्रिया है।



के कारण पानी के द्रव्यतांक से करीब  $2.8 \times 10^4 \text{ K Pa}$  का परिवर्तन होता है।

वाष्पीकरण में प्रावस्था-संक्रमण के लिये आवश्यक ताप (वाष्पीकरण का ताप)

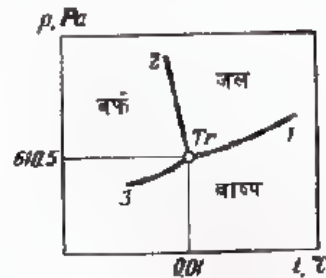
$$Q_V = m$$

है, जहाँ  $m$ —वाष्प में परिणत होने वाले पदार्थ का द्रव्यमान,  $r$ —वाष्पीकरण का विशिष्ट ताप—इकाई द्रव्यमान द्रव के वाष्प में परिणत होने के लिये आवश्यक ताप (स्थिर दाब व तापक्रम पर)।

सुले बरतन में द्रव का वाष्पन तब तक जारी रह सकता है, जब तक कि सारा द्रव नहीं गायब हो जाता। बंद बरतन में द्रव का वाष्पन तब तक जारी रहता है जब तक कि द्रव अवस्था में स्थित पदार्थ के द्रव्यमान और वाष्प के द्रव्यमान के बीच सन्तुलन नहीं स्थापित हो जाता। इस सन्तुलन में वाष्पन व संघनन की प्रक्रियाएँ अवलोकित होती हैं, जो द्रव व गैस की धारण पूर्ति करती रहती हैं। ऐसे सन्तुलन को **प्रवेगिक सन्तुलन** कहते हैं। अपने द्रव के साथ प्रवेगिक सन्तुलन में स्थित वाष्प को **संतृप्त वाष्प** का विशेषण देते हैं।

वर्धन उस तापक्रम पर होता है, जब द्रव के संतृप्त वाष्प का दाब बाह्य दाब के बराबर होता है।

तापक्रम बढ़ने साथ संतृप्त वाष्प का दाब व घनत्व बढ़ता है पर द्रव का घनत्व घटता है। तापक्रम पर संतृप्त वाष्प के दाब की निर्भरता का व्यक्त करने वाला वक्र वाष्पन वक्र या संतृप्ति रेखा कहलाता है। ठोस विस्तारिक पिंडों के लिये ऐसे वक्र ऊर्ध्वपातन वक्र कहलाते हैं।

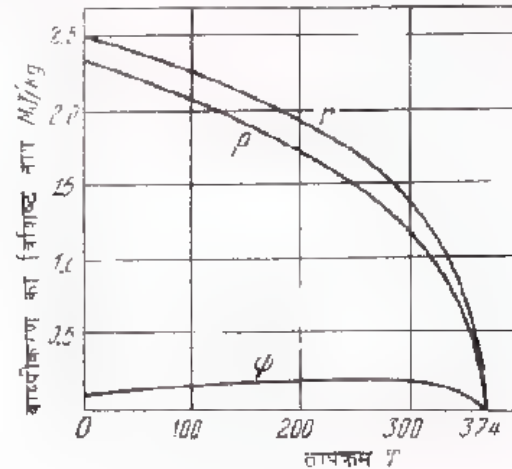


चित्र 18 पानी के त्रिगुण-चिह्न ( $T_r$ ) के पास वाष्पन  $1$ , द्रवण  $2$  और ऊर्ध्वपातन  $3$  का।

द्रवण वक्र ठोस व द्रव प्रावस्थाओं के संतुलन की परिस्थितियों को निर्धारित करता है, वाष्पन वक्र द्रव व गैसीय प्रावस्थाओं के ऊर्ध्वपातन क—ठास व गैसीय प्रावस्थाओं के बीच द्रव व वाष्प के त्रिगुण चिह्न कहते हैं (चित्र 18)। त्रिगुण चिह्न एक साथ तीन प्रावस्थाओं के संतुलन की परिस्थितियाँ (दाब, तापक्रम व द्रव्यमान) निर्धारित करता है।

द्रव व संतृप्त वाष्प के तापक्रम  $t$  और तापक्रम  $t$  का तापक्रम  $t$  जिस पर उनके घनत्व बराबर हो जाते हैं। इस तापक्रम को दाब (द्रव व द्रव वाष्प) के बीच की सीमा समझा जाता है। इस तापक्रम अवस्था कहते हैं और इस अवस्था को **संतृप्त वाष्प** का दाब व तापक्रम  $t$  बरतन पराश्रितक कहते हैं (चित्र 19)।

वाष्पीकरण का विशिष्ट ताप तापक्रम पर निर्भर करता है। इस तापक्रम पर वाष्पीकरण का विशिष्ट ताप घटता है। बरतन तापक्रम पर तापक्रम के बराबर होता है। वाष्पीकरण का ताप  $r$  का एक भाग (वाष्पीकरण का आंतरिक ताप  $\phi$ ), द्रव की ऊपरी परत पार करने में बर्तन द्वारा संचालित ताप में घट जाता है और दूसरा भाग (वाष्पीकरण का बाह्य ताप  $\rho$ ) गैस प्रावस्था में संक्रमण व कारण पदार्थ का आयतन बढ़ने में संघनन की वृद्धि में घटता है।



चित्र 19 पानी के लिये तापक्रम पर वाष्पन के बाह्य ( $\rho$ ), आंतरिक  $\phi$  और पूर्ण ( $r$ ) ताप की निर्भरता

होता है। चित्र 19 में पानी के लिये तापक्रम  $t$  पर  $\rho$ ,  $\alpha$  व  $\beta$  के परिवर्तन दिखाया गया है।

### 3. ठोस व द्रव पिंडों में तापीय प्रसार

ठोस व द्रव पिंडों का तापक्रम बदलने पर उनके आकार (साप-आयतन) में परिवर्तन होता है।  $t^{\circ}\text{C}$  तापक्रम पर ठोस पिंड की लंबाई  $l_t$  को  $0^{\circ}\text{C}$  तापक्रम पर उसकी लंबाई  $l_0$  तापक्रम  $t$  और रैखिक प्रसार गुणक  $\alpha$  द्वारा निर्धारित करते हैं

$$l_t = l_0 (1 + \alpha t) \quad (26)$$

रैखिक प्रसार-गुणक ऐसी राशि का कहते हैं, जो पिंड का तापक्रम में डिग्री परिवर्तन के कारण उसकी लंबाई में होने वाली औसत ( $0^{\circ}\text{C}$  से  $t^{\circ}\text{C}$  के तापक्रम-अंतराल में) सापेक्षिक वृद्धि से बराबर होती है

$$\alpha = (l_t - l_0) / (l_0 \Delta t)$$

(26) की तरह ही तापक्रम  $t$  पर पिंड का आयतन

$$V_t = V_0 (1 + \beta t) \quad (27)$$

जहां  $\beta =$  आयतन के प्रसार का गुणक  $V_0 = 0^{\circ}\text{C}$  पर आयतन।

आयतन-प्रसार का गुणक पिंड के तापक्रम में डिग्री परिवर्तन के कारण उसके आयतन में होने वाली औसत ( $0^{\circ}\text{C}$  से  $t^{\circ}\text{C}$  के तापक्रम अंतराल में, सापेक्षिक वृद्धि के बराबर होता है) :  $\beta = (V_t - V_0) / (V_0 \Delta t)$ , ठोस समादिक पिंड (हर दिशा में समान गुण रखने वाले पिंड) के लिये  $\beta = 3\alpha$

आयतनी व रैखिक प्रसारों के गुणक ऋण एक घात वाले फिक्शन ( $\text{K}^{-1}$ ) में व्यक्त किये जाते हैं

अधिक सही सूत्र है :

$$\Delta l = l_0 (\alpha t + \beta t^2) \quad l = l_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$$

जहां  $\alpha$  व  $\beta$  हर पदार्थ के लिये प्रायोगिक तौर पर निर्धारित गुणक हैं।

जिस तापक्रम अंतराल में पिंड गर्म किया जा रहा है उस बदलने पर पिंड का रैखिक प्रसार-गुणक भी बदल जाता है। उदाहरणार्थ लोहे के लिये  $\alpha = 11.7 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  ( $4.7 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) होता है, जो  $0^{\circ}\text{C}$  से  $750^{\circ}\text{C}$  के अंतराल में गर्म करने पर उसका रैखिक प्रसार-गुणक

$1.21 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  होता है और  $0^{\circ}\text{C}$  से  $750^{\circ}\text{C}$  के अंतराल में  $1.52 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$  होता है

पिंड को गर्म करने पर उसका आयतन में परिवर्तन होता है तापक्रम  $t$  पर घनत्व

$$\rho_t = \rho_0 / (1 + \beta t) \quad (28)$$

जहां  $\rho_0 = 0^{\circ}\text{C}$  पर पिंड का घनत्व  $\beta = 3\alpha$  (जो पदार्थ गुणक)

### 4. तापचालन, विसरण, द्रव्यता

ताप का स्थानान्तरण चालन, विसरण व विकिरण द्वारा होता है। तापीय विकिरण।

तरल (द्रव व गैस) में तापक्रम-वैषम्यता मुख्यतः संवहन द्वारा दूर होती है। संवहन में तापक्रम है कि गर्म भाग में अणुओं का उड़ना और ठंडा भाग में धीरे-धीरे निक्षेप हो जाता है (इन्हें संवहन-धाराएं कहते हैं)। ठोस में संवहन नहीं होता।

ताप-चालन, अणुओं या परमाणुओं की दैनंदिन तापीय गति के कारण होने वाले ताप के स्थानान्तरण को ताप-चालन कहते हैं।

क्षेत्र  $S$  वाली सतह में समय  $t$  में गुजरने वाले ताप की मात्रा

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} S t \quad (29)$$

होती है जहां  $\lambda$  तापचालकता गुणांक है,  $\Delta T$  दो बिंदुओं के तापक्रम में अंतर; इन बिंदुओं की आपसी दूरी अधिकतम तापक्रम-परिवर्तन की दिशा में  $\Delta l$  है  $\Delta T / \Delta l$  का तापक्रम का नतन कहते हैं।

तापचालकता-गुणांक इकाई समय में इकाई क्षेत्र में गुजरने वाली ताप-मात्रा का कहते हैं (जब तापक्रम नतन एक के बराबर होता है)।

तापचालकता गुणांक की इकाई वाट प्रति मीटर-केल्विन ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) है  $1 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$  एक माध्यम को तापचालकता का गुणांक है, जिसमें (तापक्रम नतन  $1 \text{ K m}^{-1}$  होने पर) ताप की  $1 \text{ J}$  मात्रा  $1 \text{ m}^2$  क्षेत्र से  $1 \text{ s}$  में गुजरती है (सतह ताप स्थानान्तरण के अभिलंब है)।

विसरण विसरण घनत्व-वैषम्यता दूर होने की क्रिया है जो आण्विक

गति व कारण द्रव्य के स्थानांतरण द्वारा मग्न होती है।<sup>1</sup> समय में क्षेत्र  $S$  में गुजरने वाले द्रव्य का द्रव्यमान

$$M = D \frac{\Delta p}{\Delta l} S t \quad (2.10)$$

है, जहाँ  $\Delta p$  दो विद्युता के बीच घनत्व में अंतर, इन बिंदुओं की आपसी दूरी अधिकतम घनत्व परिवर्तन की दिशा में  $\Delta l$  है।  $\Delta p / \Delta l$  को घनत्व का नतन कहते हैं  $D$ —विसरण गुणांक है।

**विसरण-गुणांक** इकाई समय में इकाई क्षेत्र से गुजरने वाले द्रव्य के द्रव्यमान का कहते हैं (जब घनत्व का नतन 1 के बराबर होता है)

विसरण-गुणांक की इकाई वर्गमीटर प्रति सेकेंड ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) है।  $\text{cm}^2/\text{s}$  ऐसे माध्यम का विसरण गुणांक है जिसमें (घनत्व-नतन  $1 \text{ kg}/\text{m}^3$  होने पर) द्रव्य का  $\text{kg}$  द्रव्यमान  $1 \text{ m}^2$  क्षेत्र से  $1 \text{ s}$  में गुजरता है (सतर द्रव्य स्थानांतरण के अभिन्न है)।

**आंतरिक घर्षण (व्यानता)** द्रव या गैस की परतों के सार्पक्षिक स्थानांतरण में घर्षण बल उत्पन्न होते हैं, जो परतों की गति मद करते हैं यदि उनका वेग अधिक होता है, और परतों की गति त्वरित शून्य है, यदि उनका वेग कम होता है। स्थानता का कारण एक परत से दूसरे में मयमण करने वाले अणुओं द्वारा मुख्यवर्धित गति व आवेग का स्थानांतरण है

आंतरिक घर्षण का बल है

$$F_{\text{int}} = \eta \frac{\Delta v}{\Delta l} S \quad (2.11)$$

जहाँ  $\Delta v$ —गतिमान परतों के वेगों का अंतर,  $\Delta l$ —इन परतों के बीच की दूरी (वेग की लंब दिशा में);  $\Delta v / \Delta l$  वेग नतन कहलाता है  $\eta$ —आंतरिक घर्षण का गुणांक है।

**आंतरिक घर्षण का गुणांक (या स्थानता-गुणांक)** इकाई क्षेत्र वाली परतों के बीच उत्पन्न होने वाला आंतरिक घर्षण-बल कहलाता है (जब वेग नतन इकाई के बराबर होता है)।

स्थानता-गुणांक की इकाई पास्कल-सेकेंड ( $\text{Pa s}$ ) है।  $\text{Pa s}$  ऐसे

माध्यम का स्थानता-गुणांक है जिसमें परतों के प्रवाह की त्वरित में स्पर्श-क्षेत्री  $1 \text{ Pa}$  होता है, जब वेग की लंब दिशा में परस्पर  $1 \text{ m}$  दूर स्थित परतों के वेगों का अंतर  $1 \text{ m/s}$  होता है।

समीकरण (2.9)–(2.11) तथा (2.12) से, जब द्रव या गैस के अणु के मयन पथ की लंबाई  $\lambda$  (या  $\lambda/2$ ) बराबर के मयन-क्रम होती है।

### 5. द्रवों का तनीय तनाव

द्रव की सतह पर स्थित अणुओं पर दो अणुओं की ओर से तनाव है जिसकी दिशा द्रव में भीतर की ओर होती है।

अणुओं की सतहवर्ती (ऊपर) परत तब तक  $\frac{1}{2}$  परमाणुओं की ओर से दियाती है, जो अपनी सतह का छोटी करने की प्रवृत्ति रखती है। सतह परत के हर भाग पर उसके चारों ओर के अन्य भागों पर तनाव लागू है। विचाराधीन भाग को लम्बी हुई अवस्था में रखा जाता है। अणुओं की सतहवर्ती (या सतही) परत के अन्तर्गत लागू रहते हैं और तनीय तनाव बल कहलाते हैं।

तनीय तनाव का बल सूत्र

$$F_{\text{int}} = \gamma \frac{\Delta l}{\Delta l} \quad (2.12)$$

इसमें निर्धारित होता है जहाँ  $\gamma$  द्रव की सतही परत की परिभाषा।

$\gamma$ —तनीय तनाव का गुणांक है

**तनीय तनाव का गुणांक (या सिर्फ तनीय तनाव)** ऐसी राशि का कहते हैं जो द्रव की सतही परत की श्रद्धा (सीमी) किनारी की इकाई लंबाई पर क्रियाशील बल के सांख्यिक मान के बराबर होती है।

तनीय तनाव की इकाई न्यूटन प्रति मीटर ( $\text{N m}$ ) है।

तनीय तनाव तापक्रम बढ़ते पर घटता है और परम तापक्रम पर शून्य हो जाता है।

1. द्रव के मुख्यवर्धित प्रवाह का **पटलीय** कहते हैं जब उसके हर बिंदु का वेग नियत होता है उसका पथ मुख्य आर के समानांतर होता है। इसके विपरीत, **सुवर्ध** प्रवाह में हर द्रव या वेग मात्र व दिशा में निरंतर बदलता रहता है यदि नली में द्रव-प्रवाह का वेग परत निश्चित मान को पार करता है, तो प्रवाह पटलीय से सुवर्ध में परिवर्तित हो जाता है।

## 6. गैसीय नियम

गैसीय अवस्था में गैस अधिकतर पदार्थों के गुण साधारण परिस्थितियों में निम्न समीकरण द्वारा निरूपित हो सकते हैं

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (2.13)$$

इस आदर्श गैस की अवस्था का समीकरण या क्लैपिरॉन-मेदेनीय का समीकरण कहते हैं। यहाँ  $p$ —गैस का दाब,  $V$ —द्रव्यमान  $m$  वाली गैस का आयतन,  $\mu$ —मोलैय द्रव्यमान—अनुपात  $m/\nu$  ( $\nu$ —द्रव्य की मात्रा है),  $R$ —ग्यापक (या मोलीय) गैस स्थिरांक,  $T$ —परम तापक्रम।

द्रव्य की मात्रा की इकाई मोल है। मोल (mol) द्रव्य की उस मात्रा को कहते हैं जिसमें उतने कण होते हैं जितने समस्थ कार्बन 12 क 0.012 kg में परमाणु होते हैं। कण अणु, परमाणु आयन, एलेक्ट्रॉन या गैर अन्य कणिका या कणिका-समूह हो सकते हैं।

मोलैय द्रव्यमान का सन्निकट मूल्य सार्वत्रिक आण्विक द्रव्यमान ( $M_r$ ) द्वारा निर्धारित किया जा सकता है, जो विचार धीन द्रव्य के अणु के द्रव्यमान  $m_a$  और समस्थ कार्बन 12 के परमाणु द्रव्यमान  $m_c$  के 1/12 अंश के अनुपात के बराबर होता है  $M_r = m_a [(1/12)m_c]$  उदाहरण के लिये आक्सीजन ( $O_2$ ) का सार्वत्रिक आण्विक द्रव्यमान 32 है और कार्बन डाइऑक्साइड ( $CO_2$ ) का 44, अतः इनके तदनु रूप मोलीय द्रव्यमान क्रमशः 0.032 kg/mol और 0.044 kg/mol होंगे।

किसी भी द्रव्य के एक मोल में कणिकाओं की संख्या हमेशा समान होती है; इस संख्या को एवोगाड्रो की संख्या ( $N_A$ ) कहते हैं

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \text{ है।}$$

क्लैपिरॉन मेदेनीय के समीकरण की (प्रथम सन्निकटन में) किसी भी द्रव्य पर लागू किया जा सकता है, यदि वह गैस की अवस्था में है और उसका घनत्व विचाराधीन तापक्रम पर उसके सन्तुलन वाष्प के घनत्व से कम है।

समीकरण (2.13) में मोलुसाक चार्ल्स और द्वायल-मैरियट के नियम प्राप्त होते हैं। स्थिर  $p$  और  $m$  के लिये (चूंकि  $R = \text{const}$  और  $\mu$  दिये हुए द्रव्य के लिये स्थिर है) ;

$$V = V_0 \frac{T}{T_0} \quad (2.14)$$

हो  $T_0$  तापक्रम  $T_0 = 273.15 \text{ K}$  (0°C) पर गैस का आयतन है।

संयोजनसक का नियम (समदायी प्रक्रिया में संयोजन) निम्नलिखित है,

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2.15)$$

जहाँ  $p$ —मेन्डियम में तापक्रम है।

स्थिर  $V$  व  $m$  पर वायु का नियम (समदायी प्रक्रिया में संयोजन)

प्राप्त होता है

$$p = p_0 \left( \frac{1}{273.15} \right) \quad (2.16)$$

यदि  $T$  व  $m$  पर द्वायल-मैरियट का नियम (समतापक्रमी प्रक्रिया में संयोजन) प्राप्त होता है

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2.17)$$

राशि  $\alpha = 1/273.15 \text{ K}^{-1}$  को आदर्श गैस के आयतन-प्रसार का गुणक (1) दाब का तापक्रमी गुणक कहते हैं। वायुदाब के निकटवर्ती वायुमय में 11 वायु पर यथार्थ गैसों के लिये तदनु रूप गुणक इस राशि से कुछ भिन्न होते हैं।

यदि गैस का दाब  $p$ , तापक्रम  $T$  और मोलीय द्रव्यमान  $\mu$  ज्ञात हो 11 गैस का घनत्व  $\rho$  सूत्र (2.13) द्वारा कलित किया जा सकता है

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu p}{RT} \quad (2.18)$$

समतापक्रमी प्रसारण में गैस बाह्य दाब के बल के विरुद्ध कार्य संपन्न करती है; यह कार्य संश्लेषण परिक्षेप में प्राप्त ताप के व्यय द्वारा संपन्न होता

गैस और परिवेश का तापक्रम परिवर्तित नहीं होता। गैस के समतापक्रमी 11 घन में ताप बाह्य परिवेश का प्राप्त होता है

परिक्षेप के साथ ताप विनिमय के बिना ही गैस के आयतन में परिवर्तन तापकथ प्रक्रिया) होने पर स्थिर द्रव्यमान वाली गैस के दाब और आयतन 11 संयोजन-समीकरण द्वारा संबंध होते हैं

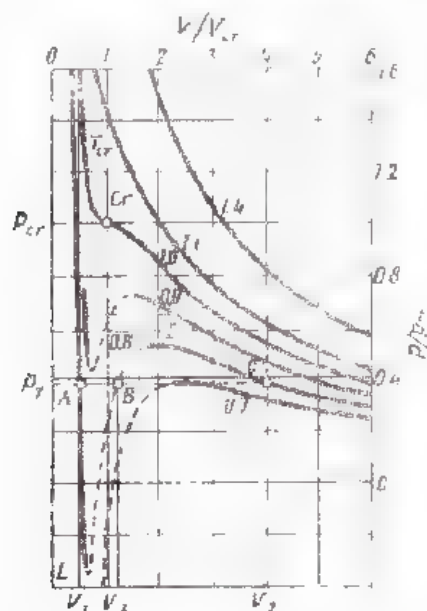
$$pV^\gamma = \text{const.} \quad (2.19)$$

$\gamma = C_p/C_v$  बहुपर्ययी घन।

१. मन का धनत्व। दस रुप ताप कम पर मूला धारा के धनत्व के साथ  
मनोवृत्ति का आदर्श। सम की अवस्था के समान, स वाणी अधिवृ  
त्ति का अवलोकित होता है। इस स्थिति में सम के धनत्व की वृत्तिक्रिया  
न अथ वृत्ति द्वारा न मनोवृत्ति का धनत्व प्रदान करता है।  
२. अथ सम की समोदय प्रदान होता है। अधिवृत्ति धनत्व का प्रदान  
कर देता है।

$$\left[ 1 - \left( \frac{m}{a} \right)^2 \frac{a}{\pi} \right] / (1 - m^2) = m^2 \quad (2.27)$$

१.  $\frac{1}{2} \text{ mole of } \text{H}_2$  is heated to  $100^\circ\text{C}$ . The volume of  $\text{H}_2$  gas evolved is  $11.2 \text{ L}$ .  
 २.  $\text{H}_2$  gas is collected over water at  $25^\circ\text{C}$ . The volume of  $\text{H}_2$  gas collected is  $11.2 \text{ L}$ .  
 ३.  $\text{H}_2$  gas is collected over water at  $25^\circ\text{C}$ . The volume of  $\text{H}_2$  gas collected is  $11.2 \text{ L}$ .  
 ४.  $\text{H}_2$  gas is collected over water at  $25^\circ\text{C}$ . The volume of  $\text{H}_2$  gas collected is  $11.2 \text{ L}$ .



न 2.0), धातु इश वास्तव क मापन-प्रत्येक । विनाशा पर प्राप्त व  
न क मापन-प्रत्येक मान ।  $V_{11}$  और  $P_{11}$  निम्न श्रेणी के क

1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554 2555 2556 2557 2558 2559 2560 2561 2562 2563 2564 2565 2566 2567 2568 2569 2570 2571 2572 2573 2574 2575 2576 2577 2578 2579 2580 2581 2582 2583 2584 2585 2586 2587 2588 2589 2590 2591 2592 2593 2594 2595 2596 2597 2598 2599 2600 2601 2602 2603 2604 2605 2606 2607 2608 2609 2610 2611 2612 2613 2614 2615 2616 2617 2618 2619 2620 2621 2622 2623 2624 2625 2626 2627 2628 2629 2630 2631 2632 2633 2634 2635 2636 2637 2638 2639 2640 2641 2642 2643 2644 2645 2646 2647 2648 2649 2650 2651 2652 2653 2654 2655 2656 2657 2658 2659 2660 2661 2662 2663 2664 2665 2666 2667 2668 2669 2670 2671 2672 2673 2674 2675 2676 2677 2678 2679 2680 2681 2682 2683 2684 2685 2686 2687 2688 2689 2690 2691 2692 2693 2694 2695 2696 2697 2698 2699 2700 2701 2702 2703 2704 2705 2706 2707 2708 2709 2710 2711 2712 2713 2714 2715 2716 2717 2718 2719 2720 2721 2722 2723 2724 2725 2726 2727 2728 2729 2730 2731 2732 2733 2734 2735 2736 2737 2738 2739 2740 2741 2742 2743 2744 2745 2746 2747 2748 2749 2750 2751 2752 2753 2754 2755 2756 2757 2758 2759 2760 2761 2762 2763 2764 2765 2766 2767 2768 2769 2770 2771 2772 2773 2774 2775 2776 2777 2778 2779 2780 2781 2782 2783 2784 2785 2786 2787 2788 2789 2790 2791 2792 2793 2794 2795 2796 2797 2798 2799 2800 2801 2802 2803 2804 2805 2806 2807 2808 2809 2810 2811 2812 2813 2814 2815

$$a = 3 p_{ch} l_{ch}^2, \quad b = \frac{1}{3} l_{ch} R \frac{8}{3} \frac{V_{ch} p_{ch}}{T_{ch}}, \quad (2.21)$$

गणिमत में स्थिरांक  $a$  व  $b$  ताएकस पर निर्भर करते हैं।

बालन चर बालन के समतापकमी वक्र चित्र 20 में दिखाया गया है।  $T_{ch}$  में चर तापकमी पर समतापकमी वक्र  $S$  जैसा मंड होता है, इन तापकमी पर  $p$  के एक मान के अनुरूप आयतन के तीन मान होते हैं (जैसे दाब  $p_1$  के अनुरूप चर आयतन  $I_1, I_2, I_3$ ।  $I$  में चर तापकमी पर चर तापकमी  $S$  जैसा मंड होता है। तापकमी  $T_{ch}$  चर तापकमी है (चित्र 20, (4))। इसके अनुरूप दाब  $p_1$  व आयतन  $I_{ch}$  के मूल चर तापकमी व चर आयतन कहलाते हैं।  $T_{ch}, p_1, I_{ch}$  के अनुरूप बालन अवस्था को द्रव्य के चर अवस्था कहते हैं।

भूमि-नियन में  $S$  जैसे मोड़ वाले भाग पर वक्र ध्रुवित अक्ष के समानांतर चलता है (दाएं  $p_1$  के नियम समतापक्षी वक्र बिंदु  $A, B, C$  से होकर गुजरता है)। ये भाग द्रव व गैस के बीच सन्तुलन के अनुरूप है। अर्थात् द्रव व भाव सन्तुलन की अवस्था में स्थित गैस (या वाष्प) का सन्तुलन वाष्प कहते हैं। (पृ. 6-9) समतापक्षी वक्र कुछ परिस्थितियों में भाग  $AL$  (अनिर्णय की अवस्था) और  $CD$  (अनिर्णय वाष्प) में हो कर गुजर सकता है। व अस्थायी स्थायी नहीं होती।

दात्र को ब्रह्म कर गैस का द्रवीभूत करन के लिये उसे चरम तापक्रम में लाने तक ठंडा करना पड़ता है। गैस के द्रवीभूतन का तापक्रम उस दात्र द्वारा नियोजित होता है, जिसके अंतर्गत वह स्थित होता है। सारणी ३५ में द्रवीभूतन का वक्रवर्तक दिये गये हैं। दात्र कम कर के (उदाहरणार्थ) उपर्युक्त वाष्प (निर्यातित कर के) वक्रवर्तक को कम किया जा सकता है।

।। तब इस वाक्य का समीकरण कुछ परिस्थितियों में द्रव्य की दशावस्था में परिवर्तन कर सकता है ।

7. गैसों के गतिकीय सिद्धांत के मूल तथ्य

भाष्य दृष्टिकोण से सैम स्वतन्त्र रूप से गतिमान कणिकाओं (अणुओं) या  
 'मण्डलों' की शृंखला बंदी मर्यादा है। य रणिकाएँ भिन्न-भिन्न वेगों से गतिमान  
 हैं। एक दूसरे से टकराते हुए अपना वेग बदलते रहते हैं।

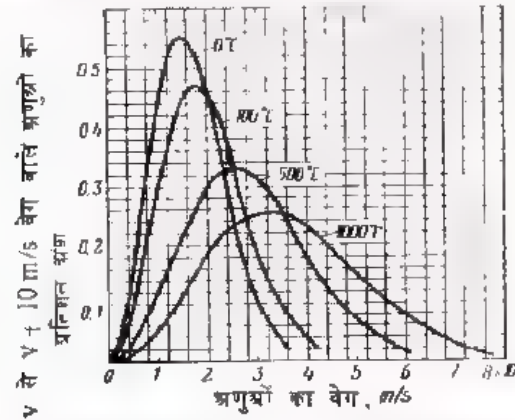


यह भौतिक दृष्टिकोण को बोलचाल द्वारा नये नियम गण्य पथ की ओर लंबाई खलन धावन का पथ या मुक्त पथ कहलाती है। गैस में मुक्त पथ की लंबाई

$$l = \frac{kT}{\sqrt{2}n\pi r^2 p} \quad (2.22)$$

जहाँ  $k = R/N_A$  — बोल्ट्समान का स्थिरांक,  $n$  — अणु का घनत्व,  $T$  — परम तापक्रम (K),  $N_A$  — एवोगाड्रो की संख्या,  $p$  — दाब,  $R$  — व्यापक गैसीय स्थिरांक

वगा के अनुसार अणुओं के वितरण को निरूपित करने वाला नियम वितरण का फलन कहलाता है। आदर्श गैस के अणुओं का वितरण-फलन (मैक्सवेल का वितरण-फलन) चित्र 21 में प्रस्तुत किया गया है। ऊर्ध्व अक्ष पर अणुओं की सांक्षिक संख्या  $\Delta n/n$  दिखायी गयी है। अंतर्गत वेग  $v$  से  $v + \Delta v$  का सामांय है, क्षैतिज अक्ष पर वेग नियम गये हैं।



चित्र 21. विभिन्न तापक्रमों के लिए वेगों के अनुसार आदर्श गैस अणुओं का वितरण

चित्र 21 में उल्लिखित के अनुसार दाब वेग अणु का महत्तम संभाव्य वेग  $v_p$  कहलाता है।

अणुओं का औसत वेग है

$$v_{av} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} \quad (2.23)$$

जहाँ  $v_1, v_2, \dots, v_n$  अणुओं के वेग हैं, वेगों के मान परम हैं।

अणुओं का औसत वर्गावय वेग है

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}} \quad (2.24)$$

वेगों के कलन के लिए मैक्सवेल के वितरण फलन से निम्न व्यंजन प्राप्त होता है

$$v_{rms}^2 = \frac{2kT}{m} \quad \text{या} \quad v_{rms} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (2.25)$$

जहाँ  $m$  एक अणु का द्रव्यमान है और  $v_{rms} = v_{av}$  है।

गैस के दाब का वितरण वेगों के वितरण से प्राप्त किया जा सकता है, उसे कलन करने से निम्न सूत्र प्राप्त होता है

$$p = \frac{1}{3} nm v_{rms}^2 = nkT$$

जहाँ  $n$  अणुओं की सांद्रता (इकाई आयतन में अणुओं की संख्या) है।

मिश्रण में उपस्थित गैस का आंशिक दाब हम दाब का  $1/n$  भाग विचाराधीन गैस उत्पन्न करती, यदि वह द्रव्य द्रव्य आयतन में (उदा. 1 घन मीटर) अक्ली होती।

आदर्श गैसों के मिश्रण में जो आयतन में रासायनिक प्रतिक्रिया नहीं होती, तब दाब मिश्रण में उपस्थित गैसों के आंशिक दाबों का योगफल है। आदर्श का नियम

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (2.26)$$

आदर्श गैस के एक अणु की औसत गतिज ऊर्जा सिर्फ तापक्रम पर निर्भर करती है

$$E = \frac{1}{2} m v_{rms}^2 = \frac{3}{2} kT \quad (2.27)$$

जहाँ  $i = 3$  एकपरमाणुक गैस के लिए

$i = 5$  द्विपरमाणुक गैस के लिए

$i = 6$  बहुपरमाणुक गैस के लिए

एक साल आदर्श गैस के अणुओं की गतिज ऊर्जा

$$E_{av} = \frac{1}{2} i RT \quad (2.28)$$

स्वातन्त्र्य वग (द. पृ. 12) में अधिक बड़ वग से गतिमान अणु वातावरण की ऊपरी परतों में निकल कर बाह्य व्योम में चले जा सकते हैं।

किसी ग्रह के गुरुत्वाकर्षण क्षेत्र के प्रभाव से उस ग्रह की भावना रखना याता गैसीय मिश्रण उस ग्रह का वातावरण कहलाता है। ग्रह की सतह से ऊँचाई  $h$  के बढने पर वातावरण का दाब घटता है। यदि यह मान लिया जाये कि, वातावरण का तापक्रम ऊँचाई पर नहीं निर्भर करता, तो

$$p = p_0 e^{-\mu g h / (RT)} \quad (2.30)$$

जहाँ  $\mu$  = वातावरण में उपस्थित गैसों के मिश्रण का औसत मोलीय द्रव्यमान,  $g$  = ग्रह की सतह के निकट स्वतंत्र अभिपानन का त्वरण,  $R$  = व्यापक गैसीय स्थिरांक,  $T$  = केन्विन के पैमाने पर तापक्रम,  $p_0$  = ग्रह की सतह के समीप वातावरण का दाब,  $e$  = प्राकृतिक लघुगुणको का आधार ( $e \approx 2.72$ )। समीप (2.30) दाबमापी सूत्र कहलाता है।

पार्थिव वातावरण के लिये दाबमापी सूत्र को निम्न रूप में लिखा जा सकता है

$$h = 8000 \ln \frac{p_0}{p}$$

जहाँ  $h$  मीटर में व्यक्त ऊँचाई

सोवियत संघ और अनेक अन्य देशों में तुलना के लिये एक मानक वातावरण अपनाया है। इसके कलन के लिये यह माना गया है कि  $15^\circ\text{C}$  तापक्रम पर सागर स्तर पर दाब  $101325 \text{ Pa}$  होता है और ऊँचाई के साथ-साथ तापक्रम-ह्रास  $6.5 \text{ K}$  प्रति  $1000 \text{ m}$  होता है। मानक वातावरण के परासितक सारणी 53 में दिये गये हैं।

हमारे परिक्षे की हवा में जलवाष्प की कुछ मात्रा हमेशा उपस्थित रहती है।  $1 \text{ m}^3$  हवा में उपस्थित जलवाष्प का द्रव्यमान परम आर्द्रता कहलाता है। परम आर्द्रता को जलवाष्प के आंशिक दाब द्वारा माप सकते हैं।

परम आर्द्रता के बढने पर जलवाष्प सतृप्त वाष्प की अवस्था के निकट

जाता जाता है। दिये हुए तापक्रम पर महत्तम परम आर्द्रता\*  $1 \text{ m}^3$  में उपस्थित सतृप्त जलवाष्प के द्रव्यमान का कहता है।

सापेक्षिक आर्द्रता परम आर्द्रता और महत्तम आर्द्रता के अनुपात की प्रतिशत अंशों में व्यक्त करने से प्राप्त होता है।

गैस की तापचालकता, श्यानता और विद्यमान के गुणांक ( $\lambda, \eta, D$ ) निम्न सूत्रों द्वारा कल्पित होते हैं

$$\lambda = \frac{1}{3} c_v \bar{v} l, \quad (2.31)$$

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{v} l, \quad (2.32)$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} l, \quad (2.33)$$

जहाँ  $\rho$  = गैस का घनत्व,  $v_{\text{avr}}$  = गैस के अणुओं का औसत वेग,  $c_v$  = विश्र आयतन पर विशिष्ट तापग्राहिता,  $l$  = अणुओं के स्वतंत्र घावन का पथ।

यदि स्वतंत्र घावन-पथ की लंबाई उस बरतन के आकार से बड़ी है जिसमें गैस स्थित है, तो उस विरलन को रिक्तता (निर्वात) कहते हैं। निर्वात में वेग-नन्त, तापक्रम और, इमीन्विये, आंतरिक घर्षण, तापचालकता आदि जैसी अवधारणाएँ अपना अर्थ खो बैठती हैं। पर निर्वात में दो पत्तियों के बीच घर्षण-बल  $F_{\text{ntc}}$  उत्पन्न हो जाता है, यदि वे परस्पर समानांतर, सापेक्षिक वेग  $\Delta v$  में गतिमान होते हैं। इसके अतिरिक्त, दोनों की सतहों के बीच ताप विनिमय  $Q_{\text{ntc}}$  भी होता है (सतहों के तापक्रमों का अंतर  $\Delta T$  है)। इन परिस्थितियों में

$$F_{\text{ntc}} = \eta_{\text{ntc}} S \Delta v, \quad Q_{\text{ntc}} = \lambda_{\text{ntc}} S \Delta T, \quad (2.34)$$

जहाँ घर्षण-गुणांक  $\eta_{\text{ntc}} = \frac{1}{6} \rho v_{\text{avr}}$ , तापचालकता  $\lambda_{\text{ntc}} = \frac{1}{6} \rho v_{\text{avr}} c_v$ ,  $S$  = पत्तियों की सतह का क्षेत्रफल,  $t$  = समय।

\* कुछ परिस्थितियों में वाष्प का अतिरिक्तुत्पन्न भी संभव है।

## सारणी और पाक

सारणी 25 अंतर्राष्ट्रीय व्यावहारिक तापक्रमी पैमाना (IPTS-68)

समुच्चय की अवस्था	तापक्रम का तय किया गया मान	
	K	°C
मनः 111 हाइड्रोजन का त्रिगुण बिंदु	13.81	-273.15
75 mm Hg दाब पर हाइड्रोजन की द्रव व गैस अवस्थाओं के बीच समुच्चय	17.042	256.108
हाइड्रोजन की द्रव व गैस अवस्थाओं के बीच समुच्चय	20.28	252.07
नियोन की द्रव व गैस अवस्थाओं के बीच समुच्चय	27.102	246.048
आर्गोन का त्रिगुण बिंदु	34.333	218.789
आर्गोन की द्रव व गैस अवस्थाओं के बीच समुच्चय	90.188	32.062
पानी का त्रिगुण बिंदु	273.15	0.01
पानी की द्रव व वाष्प अवस्थाओं के बीच समुच्चय	373.15	100
जस्ता की ठोस व द्रव अवस्थाओं के बीच समुच्चय	692.73	419.58
चांदी की ठोस व द्रव अवस्थाओं के बीच समुच्चय	1235.08	961.93
स्वर्ण का ठोस व द्रव अवस्थाओं के बीच समुच्चय	1337.53	1064.38

नियुक्ति :— यहाँ विनियम रूप से निर्दिष्ट नहीं किया गया है दो अवस्थाओं का समुच्चय माध्यम वात दाब (1 atm = 0.101325 Pa) पर माना है।

सारणी 26 चंद पदार्थों के लिए विशिष्ट तापग्राहिता  $c_p$ , द्रवणांक $t_m$ , द्रवण-ताप  $\lambda$ , क्वथनांक  $t_b$ , वाष्पीकरण का ताप  $r$ .

पदार्थ	$c_p$ kJ (kg·K) 20 °C पर	$t_m$ °C	$\lambda$ kJ/kg	$t_b$ °C	$r$ kJ/kg
अलुमिनियम	0.88	933.3	372-374	2000	9220
आयन	0.40	1300-400	205		
पथिन अल्कोहल	2.43	-1.4	105	78.3	846
पथिन ईथर	2.35	-1.63	113	34.6	351
फॉर्मलिन	2.18	94.3	96	56.2	524

(सारणी 26 समाप्त)

पदार्थ	$c_p$ kJ (kg·K) 20 °C पर	$t_m$ °C	$\lambda$ kJ/kg	$t_b$ °C	$r$ kJ/kg
कमल	0.40	1	100	1	14
ग्लोबीरोल	2.4				
बाक्सा	0.255	961.9		1000	1000
बर्मोनियम	0.31	900	40	1000	1000
टिन	0.23	231.9	50	1000	1000
टांगुमन	1.73	95.1	72.1	110.1	1000
दलवा लोहा	0.50	1100-1200	96-138		
तांबा	0.39	1083	2.4	1360	1410
लिकेस	0.46	1452	243-306	3000	2210
मैग्नेशियम	1.3	80.3	151	218	316
पाया	0.138	-38.9	11.73	356.7	200
पानल	0.38	900			
पार्टिशियम	0.763	64	60.6	760	2080
फ्लोरोबोस्ट	0.92-1.05				
बर्फ पानी	0.50	1100-1200	96-138		
विस्मय	0.13	271	50	1560	855
ब्रोम	1.705	5.5	127	80.2	390
मैग्नेशियम	1.3	0.1	373	1103	3433
निकेल					
लोड, 8%	1.7				
आदता (भार के अनुसार)					
बहुत, 6-8%	2.4				
आदता (भारानुसार)					
गोबरधम	4.40	186	626	1510	21000
गोबर	0.45	1530	293	3050	6000
गोबर या गोबरधनु	0.17	65.5	35		
गोबर	0.13	327.3	22.5	1750	880
गोबरधम	1.3	98	113	383	4220
गोबर	0.13	1064.4	66.6	2800	1575

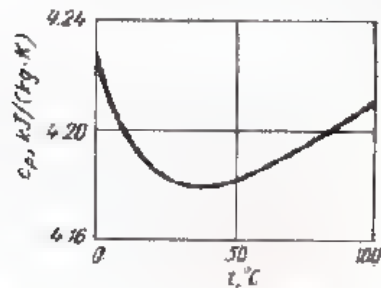
सारणी 27. द्रवण के दरम्यान पदार्थ के आयतन में सापेक्ष परिवर्तन

पदार्थ	$\frac{\Delta V}{V} \%$	पदार्थ	$\frac{\Delta V}{V} \%$
अलुमीनियम	6.6	पात्र	3.6
अलुमीनियम के मिश्रधातु	4.5-5.9	पॉर्टलियम	2.4
इंडियम	2.5	बर्फ (पानी)	9.5
इस्पात कार्बन मिश्रित	4.5-6.0	बिस्मथ	5.32
एंडीमनी	0.94	भरा माहा	2.436
कैडमियम	4.74	मैग्नीशियम	4.2
कैल्शियम	3	सीडियम	1.5
चांदी	4.99	सोडियम	2.6
जस्ता	6.9	सीसा	3.6
टिन	2.6	मार्बल	2.5
लाकड़ के मिश्रधातु	3.0-4.5	सोना	5.19

सारणी 28. अग्नि-सह पदार्थों के द्रवणांक

पदार्थ	$t, ^\circ\text{C}$	पदार्थ	$t, ^\circ\text{C}$
टिटैलियम व जिर्कोनियम के कार्बाइड	3500-3900	नेदुलम	150
टंगस्टन	3416	नियोबियम	2415
जिर्कोनियम व टैंगनियम के बोराइड	3000-3200	बिर्कोनियम	1860
		टिटैलियम	1750

पानी की ताप-ग्राहिता



चित्र 22. विभिन्न तापक्रमों पर पानी की बिजगट ताप ग्राहिता

सारणी 29. अल्प तापक्रमों पर ठोस पदार्थों का तापग्राहिताएं  
[  $\text{kJ/K}$  ]

पदार्थ	$t, \text{K}$							
	20 $\text{H}_2$ का व्यवहार	50	77 $(\text{N}_2 \text{ का})$	90	100	110	120	130
अलुमीनियम	0.3	144	349	421	471	500	520	540
इस्पात (स्टेनलेस)	4.6	17	123	214	271	300	320	340
क्वार्ट्ज (इकोथून)	25.7	115	201	242	271	290	300	310
ग्लास	7.9	98	222	251	271	290	300	310
निकेल	5.0	63.6	156	210	240	260	270	280
प्लानाएलामिट 4	77.6	910	317	364	399	420	430	440
सिलिका	4.1	4	4	4	4	4	4	4

टिप्पणी: (1) स 300 K तक के तापक्रमों पर तापग्राहिता  $c_p$  का मान लगभग 416  $\text{J/(kg·K)}$  है और द्रव क्वार्ट्ज का  $c_p = 1.1$ .

सारणी 30. विभिन्न तापक्रमों व दाबों पर द्रव एथिल अल्कोहल की तापग्राहिता [  $c_p, \text{kJ/(kg·K)}$  ]

$t, ^\circ\text{C}$ MPa	तापक्रम $^\circ\text{C}$						
	60	-40	20	0	90	97	0
0.98 5.8	1.59 1.59	1.79 1.79	1.99 1.99	2.20 2.20	2.41 2.41	2.50 2.50	2.64 2.64

$t, ^\circ\text{C}$ MPa	तापक्रम $^\circ\text{C}$						
	8	0	40	90	97	97	0
0.98 5.8	3.06 3.00	3.28 3.21	3.52 3.44	3.7 3.66	3.90 3.90	4.19 4.19	4.57 4.57

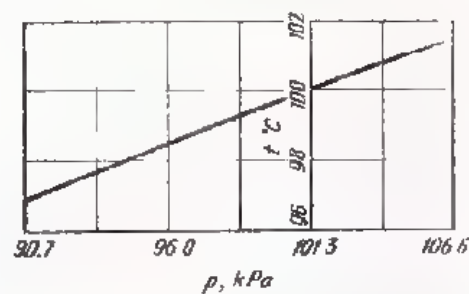
सारणी 31 सामान्य दाब पर गैसों की विशिष्ट तापघातित्व  
 $[c_p, \text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$

$T_0$ K	वायु		कार्बन डाइऑक्साइड		जलवाष्प		गणित अंशफल	
	$c_p$	$\frac{c_p}{c_v}$	$c_p$	$\frac{c_p}{c_v}$	$c_p$	$\frac{c_p}{c_v}$	$c_p$	$\frac{c_p}{c_v}$
0	0.9149	1.397	1.006	1.401	0.8148	1.3	1.34	1.15
100	0.934	1.395	1.010	1.397	0.8136	1.3	1.689	1.1
200	0.954	1.37	1.027	1.390	0.8977	1.3	2.11	1.05
300	0.9943	1.355	1.048	1.37	0.9	1.3	2.29	1.05
600	1.069	1.321	1.115	1.343	1.052	1.33	2.48	1.0

सारणी 32 वाष्पीकरण का ताप

पदार्थ	तापक्रम, $^{\circ}\text{C}$	$r$ kJ/kg	पदार्थ	तापक्रम $^{\circ}\text{C}$	$r$ kJ/kg
बिनाम	100-238	2030	बिनाम	100	250-314
बल्बार्काम	61.2	247	बल्बार्काम	0	139
गंधकाम	31	11	गंधकाम	0	13
गंधकाम	100	120	गंधकाम	0	13
गंधकाम	-	487	गंधकाम	0	13
गंधकाम	220	316	गंधकाम	0	13

पानी का क्वथनांक

चित्र 23, दाब-दाब पर पानी ( $\text{H}_2\text{O}$ ) के क्वथनांक की निरूपण।



सारणी 33. भिन्न तापक्रमों पर वाष्पीकरण का ताप  
( $r$ , kJ/kg)

$t$ , °C	अम्लोय			एथिल ईथर	एमाइक अम्ल	बजेल
	मेथिल	एथिल	प्रोपिल			
0	1220	927	—	388	—	—
20	1100	923	—	367	352	—
40	1160	920	—	347	365	—
60	1130	891	—	329	376	—
80	1190	866	796	308	384	401
100	1030	827	688	287	367	383
120	974	773	642	261	396	363
140	906	717	588	234	385	347
160	—	673	541	—	361	321
180	74	64	49	34	34	30
200	688	487	429	—	321	288
220	472	370	358	—	344	26
240	—	169	266	—	328	227
260	—	—	141	—	303	184
280	—	—	—	—	266	155

सारणी 34. भिन्न तापक्रमों पर कार्बन-डायक्साइड के वाष्पीकरण का ताप

तापक्रम, °C	$r$ , kJ/kg	तापक्रम, °C	$r$ , kJ/kg	तापक्रम, °C	$r$ , kJ/kg
0	338	10	262	20	63
10	28	0	237	30	0.0
20	504	20	133	—	—

सारणी 35. द्रवीभूत गैसों के लिये त्रिगुण बिंदु पर द्रवणांक  $T_m$ ,  
द्रवण का मोलघन ताप  $\lambda$ , वद्यनांक  $T_b$  (सामान्य दाब पर)

तथा वाष्पीकरण का ताप  $r$

द्रवीभूत गैस	$T_m$ , K	$\lambda$ , J/mol	$T_b$ , K	$r$ , J/mol
प्रोपेन	54.4	445	90.7	634
प्रोपेन	83.8	130	7	160
कार्बन डायक्साइड	216.4	0.505	79.50	611
	MPa पर		297.00	30
नाइट्रोजन	63.2	7.3	77.3	173
मिथेन	94.1	30	161	—
एथेन	55.2	1520	305.2	136
ब्रोमिन	60	—	331	111
ऑक्सीजन	40	117	90.1	—
मिथेन	—	4	—	—

नियमः — द्रवण का ताप त्रिगुण बिंदु पर द्रवण के ताप के समान होता है।

वाष्पीकरण का ताप सामान्य दाब पर वद्यनांक के अवस्था

सारणी 36. सामान्य दाब पर साधारण नमक के भिन्न सांद्रताओं

वाले जलय घोलों के घनत्व, जमनांक और वद्यनांक

NaCl पर घोल का घनत्व $\rho$ , Mg/m <sup>3</sup>	NaCl की सांद्रता kg प्रति 100 kg पानी	जमनांक °C	वद्यनांक °C
1000	10	0.1	—
102	20	1	—
105	30	4.4	10.2
10	40	6.1	—
5	25.0	16.1	0.1
2	—	—	0.2

सारणी 37. सामान्य दाब पर लवणों के जलीय घोलों के महत्तम स्क्वथनांक

लवण	स्क्वथनांक पर सांद्रता, kg लवण प्रति 100 kg पानी	$t$ °C
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	27.5	101.7
CaCl <sub>2</sub>	105	171
CuSO <sub>4</sub>	82.2	147
KI	226	167
LiCl	15	166
NaCl	40.7	108.9
NaNO <sub>3</sub>	222	120

टिप्पणी :—मानदनाम गयी दी गयी है, जिन पर घोलों के स्क्वथनांक महत्तम होते हैं।

सारणी 38. साधारण व भारी जल के गुण

	द्रवणांक $t_{dr}$ °C	महत्तम घनत्व का तापक्रम $t_{mg}$ °C	स्क्वथनांक $t_{kw}$ °C	चरम तापक्रम °C	चरम दाब MPa	घनत्व Mg m <sup>-3</sup>	
						नरम अवस्था में	महत्तम
जल	0	3.98	100	374.15	22.1	0.307	—
भारी जल	3.82	11.23	101.43	371.5	21.8	0.333	1.105

सारणी 39. चरम परामितक

द्रव्य	$t_{cr}$ °C	$P_{ch}$ MPa	$\rho_{ch}$ Mg m <sup>-3</sup>
आक्सीजन	118.3	0	0.430
नमीटान	237	1.9	0.768
पराटिक अम्ल	321.6	—	0.551
मथिल अल्कोहल	243.1	0.5	0.92
कार्बन डाइक्साइड	31.1	3	0.461
गैसोन	320.6	4.1	0.992
नाइट्रोजन	-147.1	3.39	0.31
नैफथेलीन	468.2	97	—
पानी	374.15	22.1	0.307
प्राथम अल्कोहल	265.7	0.7	—
बेनोल	288	4.8	0.901
मिथेन	162.5	4.64	0.9
मथिल अल्कोहल	240	7.97	—
हाइड्रोजन	239.9	1.3	0.031
गैलियम	-267.9	0.2	0.309

सारणी 40. त्रिगुण बिंदुओं के लिए तापक्रम व दाब

द्रव्य	$T$ K	$P$ kPa
अमोनिया	240.3	0.06
आक्सीजन	90.2	0
कार्बन डाइक्साइड	31.1	3
नाइट्रोजन	195.8	1.9
नियोन	24.6	4.31
पानी	373.15	0.1
गैस हाइड्रोजन	33.2	7.04
ब्रजादिक अम्ल	390.5	—

सारणी 41. सतृप्त जलवाष्प के गुण

दाब ( $10^5 \text{ Pa}$ )	तापक्रम $t, ^\circ\text{C}$	विशिष्ट आयतन $v, \text{kg}^{-1}$	सम्पत वा विशिष्ट ताप $r, \text{kJ kg}^{-1}$
0.0059	0	2.17	2500
0.0196	1.7	61.3	2437
0.068	47.4	14.06	2388
0.196	59.7	7.2	2360
0.397	73.4	4.71	2322
0.588	85.45	2.785	2297
0.784	93.7	2.127	2278
0.98	98.7	1.915	2269
0.98	99.1	1.905	2262
1.015	100	1.84	2260
1.259	100	1.4	2242
1.7	116.3	0.906	2215
2.06	119.5	0.902	2209
2.44	132.9	0.657	2168
3.12	142.9	0.4703	2137
4.00	151.1	0.3803	2111
5.13	158.1	0.3214	2088
6.55	164.7	0.2773	2067
7.84	169.6	0.2448	2048
9.32	174.5	0.2139	2031
9.3	175.0	0.1980	2014
11.3	187.1	0.1665	1984
13.7	194.1	0.1434	1956
15.7	200.4	0.1261	1930
17.6	206.2	0.1125	1907
18.5	211.4	0.1015	1882
23.4	232.8	0.0679	1790
31.2	243.2	0.0506	1712
38.9	270	0.035	1565
74.4	290	0.0215	1480

सारणी 41. समाप्त

दाब ( $10^5 \text{ Pa}$ )	तापक्रम $t, ^\circ\text{C}$	विशिष्ट आयतन $v, \text{kg}^{-1}$	सम्पत वा विशिष्ट ताप $r, \text{kJ kg}^{-1}$
100	311	0.0031	1400
108	330	0.00330	1340
116	350	0.0035	1280
120	370	0.00403	1240
120.1	374	0.00447	121
120.1	374.15	0.00817	11

सारणी 42. द्रवों का आयतन प्रसार-गुणक  
( $20^\circ\text{C}$  पर)

द्रव	$\beta$ ( $10^{-4} \text{ K}^{-1}$ )	द्रव	$\beta$ ( $10^{-4} \text{ K}^{-1}$ )
बन अल्कोहल	11.0	पानी 5-10 $^\circ\text{C}$ पर	0
पानी ईथर	16.3	पानी 10-20 $^\circ\text{C}$ पर	1.5
ग्लिसरीन	25.7	पानी 20-40 $^\circ\text{C}$ पर	3.0
पेट्रोलिन	14.3	पानी 40-60 $^\circ\text{C}$ पर	5.0
बन डायमन्फाइट	11.9	पानी 60-80 $^\circ\text{C}$ पर	7.0
क्वार्ट्जफॉर्म	12.8	पारा	1.5
ब्रॉमिन्	10.0	पेट्रोलियम	9
ग्लोसीन	5.0	प्रोपिल अल्कोहल	9.5
ग्लोसीन	1.4	बेन्जोल	10.5
ग्लोसीन	10.8	मेथिल अल्कोहल	11.0
ग्लोसीन अम्ल	12.4		

सारणी 43 ठोस पदार्थों के रेखिक प्रसार-गुणक  
( $20^{\circ}\text{C}$  के निकटवर्ती तापक्रमों के लिये)

द्रव्य	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	द्रव्य	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$
अलुमीनियम	22.9	निकेल	13.4
इनवार (36.1% Ni)	0.9	कोबाल्ट	13.9
इरीडियम	6.5	गोमरिल	3.0
इस्पात काबन	11.1-12.6	जर्मेनियम	8.9
स्टेनलेस	9.6-16.0	मैंगनीज टंग्स्टेन	8.7
ईट का अम्ल	5.5	प्रधानमिध	
ग्लानाइट	7.2	बर्फ ( $0^{\circ}\text{C}$ से $10^{\circ}\text{C}$ तक)	50.5
कम्पटन	17.0	ब्रिस्मथ	13.4
काच (पाइरेक्स)	3.0	मैग्नेशियम	25.1
काच (साधारण)	8.5	लकड़ी (रेणु के अनुदैर्घ्य)	2.6
कैसा	17.5	नक्का रेशा के अनुप्रस्थ	30-40
काबन ग्रेफाइट	7.9	लोहा कच्चा	10-12
क्वार्ट्ज (पिघला हुआ)	1.5	लोहा कठका	10
ग्रेनाइट	8.3	नीला मिट्टा	1-5
जमन गिल्डर	18.4	बिनास प्लास्टिक	71
जमन	10.0	पिमर और क्रायोट	12-10
लकड़न	4.3	सीसा	28.5
लिन	2.4	स्वर्ण	14.5
इस्पात नियोम	22.9	ताम	10.5
तांबा	16.7		

सारणी 44. भिन्न तापक्रमों पर रेखिक प्रसार-गुणक  
( $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ )

द्रव	तापक्रम, K				
	0	40	60	200	300
अलुमीनियम	0	1	3	10	24
इस्पात, अलुकार्बन युक्त	0	0.5	1	0	11.5
इस्पात, स्टेनलेस	0	-0.2	3	1	6
काच (पाइरेक्स)	0	-0.5	1.6	1	3.9
टिटैनियम	0	0.5	4	1	8.5
तांबा	0	1	9.5	1	17.7
ग्लोरो प्लास्टिक-4 (टेफ्लॉन)	0	35	55	9	27

सारणी 45. द्रवों का तलीय तनाव  
( $20^{\circ}\text{C}$  पर)

द्रव्य	$\alpha, \text{ mN/m}$	द्रव्य	$\alpha, \text{ mN/m}$
अंडी का तेल	36.4 ( $18^{\circ}\text{C}$ )	जैतून का तेल	31.46 ( $18^{\circ}\text{C}$ )
एथिल अल्कोहल	22.8	डोमोलन	21
एथिल ईथर	16.9	नाइट्रिक अम्ल	9.4
ग्लोसीन	42.9	नाइट्रो बेंजीन	41.1
ग्लोसोन	23.7	पानी	7.3
ग्लोसिक अम्ल	27.8	पेट्रोलियम	16
किरासोन	28.9 ( $0^{\circ}\text{C}$ )	प्रोपिल अल्कोहल	23.8
गंधकाम्ल 85%	57.4	बजोल	29.0
ग्लोसोन	59.4	मेथिल अल्कोहल	22.6

दा. 46. भिन्न तापक्रमों पर पानी और एथिल  
अल्कोहल के तलीय तनाव ( $\sigma$ , mN/m)

क्र.सं.	नाम ( )					
	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
प्रथम अंकाद्वय	144	216	144	64	34	11
द्वितीय अंकाद्वय	77	118	66,77	60,75	43	30,33

प्रश्न 17 द्रवावस्था में धातुओं के तन्वीय तनाव

धातु	वजन (g)	$d_{m, N_2}$	धातु	वजन (g)	$d_{m, N_2}$
अमोनियम	750	52.1	पारा	300	405
द्विगुण	300	376		354	394
	400	470	सोडियम		
	800	563	( $ClO_2$ के		
सीसा	350	442	ब्रानावरण में)	64	410
	430	453	भाटियम	100	286.4
	500	431		250	149.5
पारा	20	465	टिंक	100	526
	12	454		400	518
	200	436		500	514

सा.ग. १४ पद्यांशक ता.पञ्चमकता गणेशक

पदार्थ	घनत्व	( $W/m^3$ )
अनसूतनियम		9.41.4
इस्पात		7.85
लाटा		7.85
कॉलको लाइट		7.85
गोवा		7.85
गोरा		7.85
गोतल		7.85
गोहा		7.85
गोर्ण		7.85

ताप-पृथक्कारी पदार्थ	वायु-शुष्क	
नी रेश		0.42
मोस्टस का कौनो		0.42
(न)		0.42
काचरु रुई		0.42
पीट म्लैव (दलदल या मट)		0.42
वनस्पतिया का तला		0.42
कनिय कर्कोट	वायु-शुष्क	
वाच	वायु-शुष्क	
प्लास्टिक	वायु-शुष्क	
मट्टों का धातुमय	वायु-शुष्क	
मिथान, Formaldehyde		
form		
मरीडित लकड़ा से बना तला	वायु-शुष्क	

विषय	वायु-शुष्क	
रू का अंमल		0.42
वाच (माधुर्य)	—	0.74
काच	0	0.42
कागज या धातु	वायु-शुष्क	0.14
गला	वायु-शुष्क	0.42
रावम	वायु-शुष्क	1.95





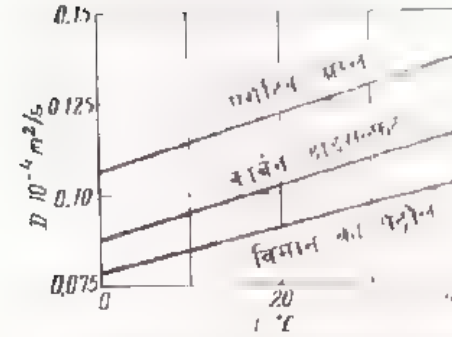
सारणी 53. मानक वातावरण

ऊँचाई m.	दाब $\frac{P}{P_0}$	घनत्व $\frac{\rho}{\rho_0}$	तापक्रम °C
0	1	1	15
1000	0.887	0.907	1.5
2000	0.784	0.819	0
3000	0.692	0.742	-4.5
4000	0.608	0.669	-11
5000	0.533	0.601	-17.5
6000	0.465	0.538	-24
7000	0.405	0.481	-30.5
8000	0.351	0.428	-37
9000	0.303	0.381	-43
10000	0.261	0.337	-49

टिप्पणी:  $P_0$  व  $\rho_0$  क्रमशः दाब व घनत्व हैं —सागर स्तर पर 15 °C तापक्रम की परिस्थिति में।

सारणी 54. हवा में गैसों व वाष्पों का विसरण-गुणांक  
(0 °C पर एकम व मानक दाब पर)

गैस	$D$ $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	गैस	$D$ $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
अमोनिया	0.2	जलवाष्प	0.21
ऑक्सीजन	0.18	टोलूएन	0.07
परिचित अल्कोहल	0.10	पेट्रॉल	0.170
परिचित ईथर	0.08	बेंजोल	0.078
मोल्डर अम्ल	1.107	मिथेन	0.2
एथिल गैस	1.9	एथिल प्रोपेन	0.13
एथिल ऑक्साइड	0.14	हाइड्रोजन	0.64
एथिल गैस	0.07		



चित्र 24. हवा में गैसों के विसरण-गुणांक का तापमान पर निर्भरता

सारणी 55. जलीय घोलों का विसरण-गुणांक

घुलन्य	$t$ °C	घोल की गन्धना mol/l	$D$ $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
अमोनिया	12	1.0	1.61
		3.55	1.5
		6.1	1.4
		8.65	1.3
परिचित अल्कोहल	11	0.15	0.9
		1.15	0.8
		3.75	0.7
		6.75	0.6
संश्लेषित क्लोराइड	9	0.20	0.9
		0.57	1.0
		1.5	1.1
		3.11	1.2
कॉपर सल्फेट (शुद्धि)	10	0.50	0.8
		0.95	0.7
		1.40	0.6
		1.97	0.5
गन्ध की गन्धना	25.5	0.30	1.3
		0.97	1.2
		1.97	1.1
		3.0	1.0

(सारणी 55, बसापन)

द्रव्य	$t, ^\circ\text{C}$	घात का सांद्रता mol/l	$D, 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$
ग्लूकोज	18	3.35	1.55
		2.85	1.85
		4.85	1.85
ग्लोसीटीन	10	0.125	0.63
		0.875	0.40
		7.1	0.35
नाइट्रिक अम्ल	10	1.1	2.4
		0.90	2.62
		90	2.85
पारिजाम क्लोराइड	15	0.1	1.9
		1.0	1.91
		2.0	1.73
रजत नाइट्रेट	12	0.02	1.19
		0.1	1.1
		1.9	1.0
सोडियम क्लोराइड	15	1.02	1.09
		1.0	1.0
		1.9	1.18
हाइड्रोक्लोरिक अम्ल	19.2	0.11	2.56
		1.9	3.04
		1.2	4.5

सारणी 56 ठोस पदार्थों में विसरण और स्वाविसरण के गुणांक

विसर्क पदार्थ	विसरण का माध्यम	$D_0, \text{ cm}^2/\text{s}$	$Q$
कार्बन	$\alpha$ -लोहा	$2 \cdot 10^{-3}$	10950
कार्बन	$\gamma$ -लोहा	$1.9 \cdot 10^{-3}$	4150
तांबा	लोहा	3.0	10500
तांबा	निकेल	$1.01 \cdot 10^{-3}$	17750
तांबा	चादी	$5.9 \cdot 10^{-6}$	12400
नाइट्रोजन	$\alpha$ -लोहा	$6.6 \cdot 10^{-3}$	9300
रजत	रजत	0.9	1000
लोहा	लोहा	$1.6 \cdot 10^{-6}$	40500
सीसा	सीसा	6.1	10000
स्वर्ण	स्वर्ण	9.2	31000
हाइड्रोजन	$\alpha$ -लोहा	$2.2 \cdot 10^{-3}$	1400
$\gamma$ -लोहा	$\gamma$ -लोहा	0.7	34000

निरूपणा : सांख्यिक मान अनभवश्यक गुण  $D = D_0 e^{-Q/RT}$  में प्राप्त हुए हैं।  
 1. नमस  $T$  केल्विन में परम तापक्रम है।

सारणी 57 अणुओं के गंभीर-गतिक व्यास

द्रव्य	व्यास $d$ nm	द्रव्य	व्यास $d$ nm
आर्सेनिक	0.356	नाइट्रोजन	0.37
आयन	0.36	नियान	0.354
आयन डाइक्लोराइन	0.454	बारा	0.31
आयन	0.34	मिथन	444
आयन	0.544	हाइड्रोजन	0.27
आयन	0.40	होबियम	0.215

सारणी 58 ईंधनों के दहन का विशिष्ट ताप

ईंधन	$W_h$ , MJ/kg	$W_L$ , MJ/kg		
<b>ठोस</b>				
रायला (ऊँची लगेट वाला, $\mu$ )	31.0-32.0	21.1-24.0		
कान्बनार (सूखा)	30.0	—		
हनामाइट 75%	—	5.4		
पत्थर कोयला A ग्राई	32-34	19-27		
पीट (बलदल में सूड़ी चाय)	22.0-25.0	8.4-11.0		
बाकुद	—	3.0-3.1		
भरा कोयला	25.0-29.0	10.0-17.0		
भस्मी (घबलनेवाला)	27.0-33.0	6.3-8.4		
सकड़ी	19.0	10.0		
<b>द्रव</b>				
पेट्रोल अल्कोहल	—	27.2		
किरोसीन, व्यापारिक	—	43.0		
पेट्रोल इंजन मोटर वाहनों के लिए	—	42.7		
पेट्रोल अल्कोहल का	—	44.1		
पेट्रोल, मोमरो कोटि का	—	43.6		
माबिन (fuel oil)	—	39.0-41.0		
<b>गैसीय (0 °C, 1013 hPa पर)</b>				
	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
गैसीटीलीन	50	58.2	48.2	56
कार्बन मोनोक्साइड	10.2	12.7	—	—
कार्बन गैस (परिष्कृत)	—	—	34.0	6.4
अक्रिय गैस	—	—	42.4	3.350
बैथेन	50.4	1.1	4.0	94
बैथेन	49.8	1.2	4.1	123
हाइड्रोजन	142	12.6	1.1	10.8

**टिप्पणी :—**(1) ईंधन में निहित जल के वाष्पन में खर्चे गए ताप ध्यान में रखे बिना जलिन दहन का ताप दहन का उच्च ताप  $W_h$  कहलाता है और उस ध्यान में रखकर जलिन दहन का निम्न ताप  $W_L$ ।

(2) गैसीय ईंधन का दहन ताप प्रांत घनमीटर में माँ कर्तित होता है (मानक परिस्थितियों में)।

सारणी 59. घान डेर वाक्स का स्थिरांक

द्रव	$\alpha$	$\beta$
वाक्सीन	0.12	—
बैथेन	0.12	—
बैथेन	0.136	—
पेट्रोल अल्कोहल	—	—
पेट्रोल इंजन	1.7	—
पेट्रोल	1.58	—
पेट्रोल	0.134	—
पेट्रोल	0.405	—
पेट्रोल	0.14	—
पेट्रोल	0.21	—
पेट्रोल	0.155	—
पेट्रोल	0.82	—
पेट्रोल अल्कोहल	1.5	—
पेट्रोल	0.92	—
पेट्रोल	1.85	—
पेट्रोल	0.220	—
पेट्रोल अल्कोहल	0.95	—
हाइड्रोजन	0.0245	—
लोमबन	0.0035	—

सारणी 60 हवा की सापेक्षिक आर्द्रता की शीतमापीय सारणी

शुष्क बल्ब की ताप थर्मामीटर वा पठन °C	शुष्क व नम बल्ब वाले थर्मामीटरों के पठनों में अन्तर °C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	31	63	45	28	11	—	—	—	—
2	100	34	68	51	35	20	—	—	—	—
4	100	35	70	56	42	28	14	—	—	—
6	100	36	73	60	47	35	23	10	—	—
8	100	37	75	63	51	40	28	18	7	—
10	100	38	76	65	54	44	34	24	14	4
12	100	39	78	68	57	48	38	29	20	11
14	100	40	79	70	60	51	42	33	25	17
16	100	40	81	71	62	54	45	37	30	22
18	100	41	82	73	64	56	48	41	34	26
20	100	41	83	74	66	59	51	44	37	30
22	100	42	83	76	68	61	53	47	40	34
24	100	42	84	77	69	62	56	49	43	37
26	100	42	85	78	71	64	58	50	45	40
28	100	43	85	78	72	65	59	53	48	43
30	100	43	86	79	74	67	61	55	50	46

टिप्पणी — सापेक्षिक आर्द्रता शीतमापी (psychrometer) का सहायता से ज्ञात करते हैं। यह दो थर्मामीटरों से बना होता है, जिसमें से एक की चटाई सूखी रहती है और दूसरे की थोड़ा कपड़ा से लपेटा रहती है। सारणी 60 की सहायता से सापेक्षिक आर्द्रता ज्ञात करने के लिए सूखे व नम थर्मामीटरों के दिए गये पठनानुसार वाले स्तम्भ व सूखे थर्मामीटर के पठन वर्धनी पंक्ति के कटान बिन्दु पर स्थित मध्यमा का खोजते हैं।

## यांत्रिक

### दोलन

### और तरंगें

## मूल अवधारणाएं और नियम

### 1. सनादी दोलन

किसी मध्यवर्ती स्थिति (जैसे स्थायी समुद्रतल की स्थिति) से किसी वस्तु को दूर-हाल रहने वाली सीमित गति (या सीमित अवस्था परिवर्तन) दोलन-गति (या सिर्फ दोलन, कहलाती है।

दोलन करत वाले ब्यूह बोलक ब्यूह कहलाते हैं। सिर्फ यांत्रिक तापमान, जैव स्थानान्तरण, वेग, त्वरण, दाब आदि) में निश्चित होना या दोलन यांत्रिक दोलन कहलाता है।

आवर्तों (मी.आदी) दोलन समय अवधि का कहते हैं, जिसमें परिपूर्ण दोलन का अपना प्रत्यक्ष मान भौतिक मध्यमा द्वारा समान कालान्तर पर दोहराती है। समय का सबसे छोटा अन्तराल  $T$  जिसके दोलन पर परिवर्तनशीलता का प्रत्यक्ष मान दोहराता जाता है, दोलन-काल (या दोलन का आवर्त-काल) कहलाता है।



राशि  $\nu = \frac{1}{T}$  की आवर्ती दोलनों की आवृत्ति (बारंबारता) कहते हैं। आवृत्ति  $\nu$  को हर्ट्ज़ (H.z) में व्यक्त करते हैं। 1 H.z ऐसे आवर्ती दोलनों की आवृत्ति है, जिसका आवर्तकाल 1s है।

सनादी दोलन किसी राशि में होने वाले ऐसे परिवर्तन को कहते हैं जिसे ग्राह्य (या कोश्यावत) नियम द्वारा निरूपित किया जा सकता है

$$u = A \sin(\omega t + \phi), \quad (3.1)$$

जहाँ  $A$  परिवर्तनशील राशि का अधिकतम मान (मापांक में) है, इस सनादी दोलनों का आयाम कहते हैं।  $\omega t + \phi$  को सनादी दोलन की प्रावस्था कहते हैं;  $\phi$  -आरंभिक प्रावस्था,  $\omega$  कोणिक या चक्रीय आवृत्ति (चक्रीय आवृत्ति  $\omega$  और दोलनों की आवृत्ति  $\nu$  निम्न सूत्र द्वारा बंध है),

$$\omega = 2\pi\nu \quad (3.2)$$

सनादी दोलन की प्रावस्था समय के दिय हुए क्षण पर इकाई आयाम वाली परिवर्तनशील राशि का मान निर्धारित करती है। प्रावस्था कोणिक इकाइयों (रेडियन या डिग्री) में व्यक्त होती है।

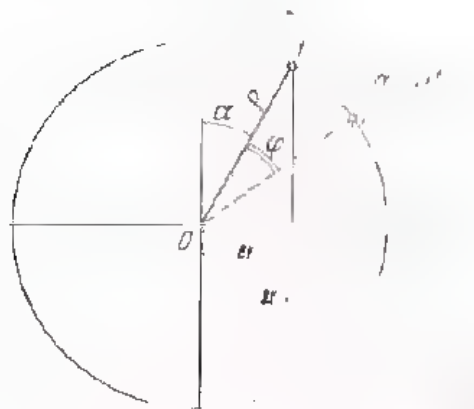
कोणिक या चक्रीय आवृत्ति रेडियन प्रति सेकेंड (rad/s) में व्यक्त की जाती है।

सनादी दोलन का एक उदाहरण है वृत्त की परिधि पर समरूप कोणिक वेग  $\omega$  में चलकरत गाली के प्रक्षेप को शीत (चित्र 25)। गाली की स्थितियों 1 व 2 के अनुरूप  $x$ -अक्ष पर उसके प्रक्षेपों के विचलन (संतुलन बिंदु 0 से प्रक्षेपों के स्थानान्तरण) है

$$u_1 = R \sin \alpha = R \sin \omega t$$

$$u_2 = R \sin (\alpha + \phi) = R \sin (\omega t + \phi).$$

समान आवृत्ति, पर भिन्न आरंभिक प्रावस्था वाले दोलन का प्रावस्थांतरित दोलन कहते हैं। प्रावस्था-अन्तर आरंभिक प्रावस्थाओं के अन्तर का कहते हैं। समान आवृत्ति वाले दो दोलनों की प्रावस्थाओं का अन्तर समग मापने के लिये आरंभिक क्षण के चयन पर निर्भर नहीं करता। उदाहरणार्थ, यदि चित्र 25 में 1 व 2 दो गोतिष्ठा की स्थितियाँ हैं, तो समय



चित्र 25. वृत्ताकार एप पर चलकरत बिंदु के प्रक्षेप।

मापने के लिये कोई भी आरंभिक क्षण चयन किया जा सकता है। प्रावस्था  $\phi$  के लिये प्रावस्थांतर भ्रमेशा  $\phi$  रहेगा (यदि गोतिष्ठा की आरंभिक स्थिति

पिंड का सनादी दोलन उस पर प्रत्यास्थकल्प बल की कारण उत्पन्न होता है। प्रत्यास्थकल्प बल (या प्रत्यास्थप्राय बल) कहते हैं जो अपनी प्रकृति के अनुसार प्रत्यास्थी बल नहीं। संतुलन की स्थिति में पिंड के स्थानान्तरण की समानुपाती  $x$  संतुलन की स्थिति की ओर निर्दिष्ट होता है। प्रत्यास्थकल्प बल का अभिव्यक्ति का रूप है

$$F = -kx$$

जहाँ  $k$  अनुप्रतिप्रकृता का गुणांक है, जिस प्रत्यास्थकल्प  $x$  के लिये  $F$  है,  $x$  -स्थानान्तरण है। ऊष्ण चिह्न दिखाता है कि बल संतुलन की दिशा में विपरीत है।

किसी भी प्रकार के आवर्ती दोलन का किसी भी पदार्थ में सनादी दोलनों के योगफल के रूप में व्यक्त किया जा सकता है।

\* गोतिष्ठा (चित्रण) में सिद्ध किया जाता है कि काठ की आकृति में अनुप्रतिप्रकृता के रूप में अक्षत तथास्थित सनादी दोलनों का योगफल व्यक्त किया जा सकता है।

## 2. दोलक

भौतिक दोलक हर उस लटकाने वाले पिंड को कहते हैं, जिसमें गुरुत्व और लटकन बिंदु से नीचे हाता है। इस प्रकार से लटकाने वाले पिंड में दोलन करने की क्षमता होती है।

लटकन बिंदु (या गणितीय) दोलक कहने के यदि दोलन  $x = A \sin \omega t$  और  $x = A \cos \omega t$  एक चित्र पर सकटित माना जा सकता है। यदि  $A$  और  $\omega$  निश्चित मान  $x$  का मिल सकता है, यदि निम्न शर्तें पूरी की जा सकें।  
 1. लटकन बिंदु नहीं हो।  
 2. लटकन बिंदु पर घर्षण नगण्य हो और धागे की लंबाई की तुलना में पिंड बहुत छोटा हो।  
 3. विचलन का प्रत्यक्ष हल पर गणितीय दोलक का दोलन मनादी माना जा सकता है।  
 नीचे दिए गये सभी सूत्र ऐसे ही दोलन के लिए हैं।

गणितीय दोलक का आवर्त काल

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.4)$$

जहाँ  $l$  — दोलक की लंबाई  $g$  — स्वतंत्र अभिप्रायन का स्वरण

स्प्रिंग में लटके वोल का दोलन संतुली माना जा सकता है, यदि दोलन का आयाम एक नियम के लागू होने की सीमा में है (दे पृ. 44) और घर्षण-बल पर्याप्त कम हैं। वोल का दोलन काल (स्प्रिंग का द्रव्यमान  $M \ll m$ ):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3.5)$$

जहाँ  $m$  — वोल का द्रव्यमान  $k$  — स्प्रिंग का कडापन; सांख्यिक रूप से यह स्प्रिंग का हवाई लंबाई अभिक लम्बाई के लिये आवश्यक बल की माप है।\*

स्प्रिंग के प्रभाव से घर्षण दोलन की गति में रत पिंड का मराडी वोलक का है (जैसे कलार्ड घड़ी में मुचा-चक्की)। विशेष परिस्थितियों में (जब  $M$  का आयाम अत्यन्त हो और घर्षण-बल भी पर्याप्त कम हो) ऐसे दोलन माना जा सकते हैं। मराडी दोलक का दोलन काल

\* सूत्र (3.5) चिक स्प्रिंग से लटक वोल की स्थिति में होता है, बल्कि उन सभी स्थितियों में काम जाता है जब सूत्र (3.3) लागू हो सकता है।

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{D}} \quad (3.6)$$

जहाँ  $l$  — लटकन-बिंदु से गुजरने वाले अक्ष के लिये पिंड का कडापन,  $D$  — मराडी कडापन, सांख्यिक रूप से यह पिंड का  $x = 0$  पर मराडी दल वाले घूर्णक आघर्ष की आवश्यक माप है।

भौतिक दोलक का दोलन काल

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \sin \alpha}}$$

जहाँ  $l$  — लटकन-बिंदु से गुजरने वाले अक्ष के लिये पिंड का कडापन  $\alpha$  — गुरुत्व केंद्र से इस अक्ष की दूरी  $m$  — पिंड का द्रव्यमान  $g$  — गुरुत्व अभिप्रायन का स्वरण।

राशि  $l = I/mg$  भौतिक दोलक की समानगति लंबाई है। यह गणितीय दोलक की लंबाई के बराबर होती है। जिसका दोलन काल (3.4) में भौतिक दोलक के दोलन काल के बराबर होता है।

## 3. स्वतंत्र और बाध्य दोलन

दोलक व्यवस्था के अंदर उत्पन्न बलों के प्रभाव से होने वाले यांत्रिक दोलन स्वतंत्र दोलन कहलाते हैं। यदि पिंड के स्वतंत्र दोलन का वेग  $v$  प्रत्यास्थक बल द्वारा, तो वे मनादी होंगे

प्रत्यास्थक बल और घर्षण-बल (जो क्षणिक वेग  $v$  का समानांतर  $F_{\text{घ}} = -rv$ )\* के सहप्रभाव से पिंड में होने वाले दोलन नश्वर दोलन कहलाते हैं।

$$u = A e^{-\delta t} \sin(\omega t + \phi) \quad (3.7)$$

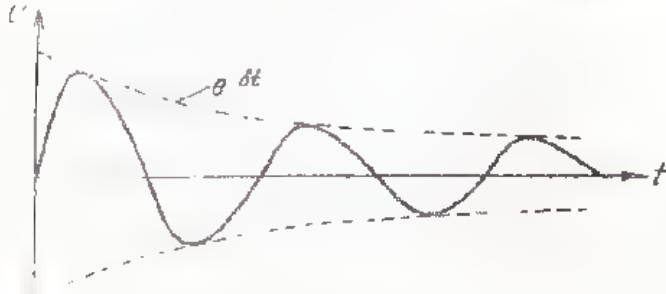
यहाँ राशि  $A$  आरम्भिक आयाम है,  $\delta$  — नश्वरता-गुणांक,  $\omega$  — आयाम का क्षणिक मान और  $\phi$  — चक्रीय आवृत्ति।  $\delta$  प्राकृतिक लघुगणकी का माप है इसके अनुरिक्त

$$\delta = \frac{r}{2m} \quad (3.9)$$

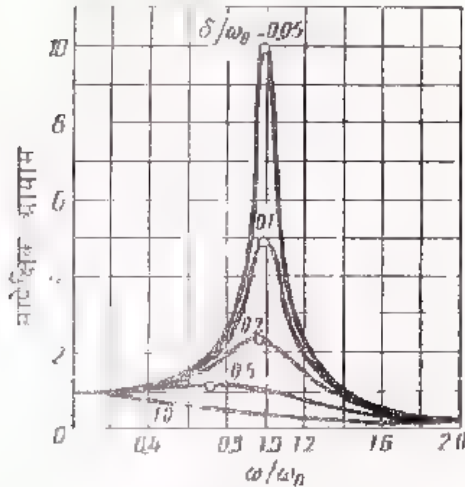
\* सूत्र में ऋण चिह्न का अर्थ है कि वेग व बल के सदियों को विपरीत दिशा में

$$\gamma = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}, \quad (3.10)$$

जहाँ  $r$ —प्रतिरोध का गुणांक,  $m$ —पिंड का द्रव्यमान;  $\omega_0^2 = k/m$ , जहाँ



चित्र 26. मरचर दानन  $x(t)$ ।



चित्र 27. भिन्न आवृत्तियों के अनुपात  $\omega/\omega_0$  अक्ष पर स्थानान्तरण के सापेक्षिक आयाम  $A/A_0$  लिये गये हैं जहाँ  $A$  स्थानान्तरण का आयाम  $F_0/k$ —स्प्रिंग के स्थानान्तरण के आयाम के बराबर वाले बल द्वारा उत्पन्न होता है। यदि  $\omega/\omega_0$  अधिक परिवर्तन  $\omega/\omega_0$  लिये गये हैं, जहाँ  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ —घर्षण। यह चित्र स्वतंत्र दानन का आवृत्ति  $\omega_0$  के भिन्न मानों के लिये है। उन्हें वृत्त स्थानान्तरण आयाम के महत्तम मानों की स्थिति दिखाते हैं।

$k$ —प्रत्यास्थकत्व बल का गुणांक, मरचर दानन चित्र 26 जैसे वक्र द्वारा दिखाये जा सकते हैं।

बाह्य आवृत्ती बल के प्रभाव से पिंड में उत्पन्न होने वाले दोलन बाह्य दोलन कहलाते हैं। जब ज्यादा बाह्य बल का आयाम मान पिंड के स्वतंत्र दाननों के आवर्तकाल के निकट होने लगता है, तब बाह्य बल का आयाम तजी से बढ़ने लगता है (चित्र 27)। इस संवृत्ति की अनुवाद कहते हैं।

यदि घर्षण बल बहुत बड़ा होता है (बड़ी तन्यता), तो शान्ति क्षीण रूप में व्यक्त होता है (दे चित्र 27) या विकृति ही व्यक्त होती है (उदाहरणार्थ  $\delta/\omega_0 > 1$  होने पर)।

जिस दोलक व्यूह में दोलन-काल के दरम्यान होने वाली ऊर्जा ही ऊर्जा के आन्तरिक खोन द्वारा पूरी की जाती है, स्वदोलक व्यूह कहलाता है और उस व्यूह में स्वयं अपना पोषण करने वाला दोलन स्वदोलन कहलाता है (यस घड़ी के पेडलम का दानन)।

#### 4. संनादी दोलनों का संयोजन

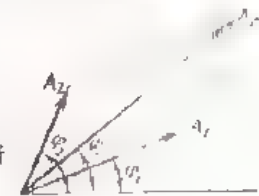
जब पिंड एक साथ दो (या अधिक) दोलन-मार्तियों में रहता है, तब समय के किसी भी क्षण पर उसका परिणामी विचलन मरचर विचलन के बराबर होता है।

समान आवृत्ति व समान दिशा वाले दो संनादी दोलन

$$u_1 = A_1 \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$u_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi_2)$$

को जोड़ने पर परिणामी विचलन का आयाम  $A$  चित्र 28 में दिखाया है।



चित्र 28. समान दिशाओं वाले संनादी दोलनों में स्थानान्तरण-आयाम का संयोजन।

चतुर्भुज के नियम द्वारा ज्ञात होता है। इस परिस्थिति में परिणामी विचलन होगा

$$u = A \sin(\omega t + \phi_1), \quad (3.12)$$

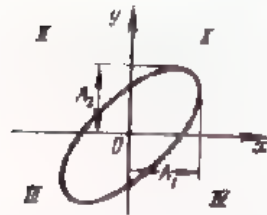
जहाँ

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\phi_2 - \phi_1)}$$

$$\tan \phi = \frac{A_1 \sin \phi_1 + A_2 \sin \phi_2}{A_1 \cos \phi_1 + A_2 \cos \phi_2}$$

जब पिछ एक साथ परस्पर लंब दिशाओं में समान आवृत्तियों वाले दो सनादी दोलन करता है, तब उसका बिचलन निम्न समीकरणों द्वारा निर्धारित होता है :

$$\left. \begin{aligned} u_x &= A_1 \sin \omega t, \\ u_y &= A_2 \sin(\omega t + \phi) \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$



चित्र 29. परस्पर लंब सनादी दोलन का संयोजन।

और पिछ की गति का पथ दीर्घवृत्त के समीकरण द्वारा निरूपित होता है (चित्र 29)।

$$\frac{u_x^2}{A_1^2} + \frac{u_y^2}{A_2^2} - \frac{2u_x u_y}{A_1 A_2} \cos \phi = \sin^2 \phi \quad (3.14)$$

$A_1 = A_2$  और  $\phi = 90^\circ$  होने पर पिछ का गतिपथ वृत्त की परिधि होती है।  $\phi = 0$  होने पर पिछ  $I$  व  $III$  चतुर्थांश में गुजरने वाली सरल रेखा पर चलता है और  $\phi = \pi$  होने पर  $-II$  व  $IV$  चतुर्थांश में गुजरने वाली सरल रेखा पर।

### 5 तरंग

व्याम में दोलनों का सीमित वेग से प्रसरण तरंग कहलाता है। दोलन व तरंग में संबंध निम्न बात से किया जाता है। यदि  $L < vT$  ( $L =$  व्यूह की एक तरंग,  $v =$  क्षोभों के प्रसरण का वेग,  $T =$  दोलन का) तो व्यूह में बार-बार दुहराये जाने वाले परिवर्तन दोलन कहलाने हैं। यदि  $L > vT$ , तो ऐसे परिवर्तन तरंग कहलाते हैं। उदाहरणार्थ, छड़ के एक सिरे को ठोकने

में समकोचन (या सपीडन) की अवस्था बनती है, जो एक नियत वेग से छड़ में उसमें अनुत्तीर प्रसरण करती है।

व्योम में क्षोभों के प्रसरण का वेग तरंग का वेग कहलाता है।<sup>1</sup> यांत्रिक तरंगों का वेग माध्यम के गुणों पर निर्भर करता है और कुछ परिस्थितियों में आवृत्ति पर भी निर्भर करता है। आवृत्ति पर तरंग वेग की निर्भरता वेग-प्रकीर्णन कहलाती है।

धात्विक तरंगों के प्रसरण में माध्यम के कण अपने मूलस्थान की स्थिति के सापेक्ष दालन करते रहते हैं। माध्यम के कणों की गयी गति का दोलक वेग कहलाता है।

यदि तरंग-प्रसरण के दरम्यान माध्यम की लक्षण राशियाँ (जैसे घनत्व, कणों का स्थानांतरण, दाब आदि) व्याम के किसी भी बिंदु पर स्थानांतरण के अनुसार बदलती रहती हैं तो ऐसी तरंगों का ज्यावत (या सनादी) तरंग कहते हैं। ज्यावत तरंगों का महत्वपूर्ण लक्षण है तरंग की लंबाई या तरंग दैर्घ्य। तरंग की लंबाई  $\lambda$  उस दूरी को कहते हैं जिसे तरंग अपने आवृत्ति काल के दरम्यान तय करती है :

$$\lambda = vT \quad (3.15)$$

आवृत्ति  $\nu$  और तरंग की लंबाई  $\lambda$  निम्न संबंध रखते हैं

$$\nu = 1/\lambda \quad (3.16)$$

जहाँ  $\nu =$  तरंग का वेग।

निम्न प्रकार का गणितीय व्यंजन

$$y = A \sin \omega \left( t - \frac{r}{v} \right) = A \sin(\omega t - kr), \quad (3.17)$$

ज्यावत तरंगों के प्रसरण के दरम्यान माध्यम की अवस्था में तब तक परिवर्तन को निरूपित करता है; इसे समतली सनादी तरंगों का सापेक्षक कहते हैं<sup>2</sup>

1. क्षोभ रिक्त व्योम (व्यामिक व्योम) में नहीं उत्पन्न हो सकते हैं। (अथवा क्षोभ में छोटे हुए व्योम) में उत्पन्न होते हैं और उसी में उनका प्रसरण सम्भव है। ऐसे भौतिक व्योम को माध्यम कहते हैं। क्षोभ में तात्पर्य है भौतिक व्याम में भौतिक माध्यम की स्थिति से विचलन जो व्याम के अर्थ बिंदुओं को भी व्याम व्याम में चलता जाता है। -अनु

2. यह भी जगह इस समीकरण में कोई भी परामितिक हो सकता है जो माध्यम की अवस्था लाकृत करता है (जैसे दाब, तापक्रम आदि)।

जहाँ  $\lambda$  — तरंग की आयाम,  $\omega$  — चक्रांग परिवर्तन,  $r$  — दूरी,  $\mu$  — माध्यम के घनत्व,  $p$  — दबाव,  $T$  — तापमान का गुणांक (दे. सारणी 17)।

जिस तरंग के सारे बिंदु समान अवस्था में स्थित रहते हैं उसे तरंगी मतलब कहते हैं।

अनुप्रस्थ तरंगी मतलबें समतल होती हैं (समतल तरंगी मतलबें), वेवलाकार (वेवलाकार तरंगी मतलबें) या वर्तुल (वर्तुल तरंगी मतलबें)। वेवलाकार व वर्तुल तरंगों के सर्पाकरण है।

$$u_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\omega t - kr) \quad (3.18)$$

$$u_n = \frac{1}{r} \sin(\omega t - kr) \quad (3.19)$$

जहाँ  $\omega$  — तरंग की आवृत्ति,  $k$  — तरंग की आयाम का मापक मान है।

यदि माध्यम के कणों का विचलन तरंग-प्रसरण की समानांतर दिशा में हो रहा है, तो ऐसी तरंग को अनुत्तरी कहते हैं, यदि कणों का विचलन तरंग-प्रसरण की दिशा के अभिलंब समतल में हो रहा है, तो तरंग को अनुप्रस्थी कहते हैं। तरंग (द्रव व गैसीय, माध्यम में यांत्रिक तरंगें अनुत्तरी होती हैं, ठोस पिंडों में अनुत्तरी व अनुप्रस्थी दोनों ही प्रकार की तरंगें सम्भव हैं।

छड़ में अनुत्तरी तरंगों का वेग

$$v_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3.20)$$

जहाँ  $E$  — यौग का मापक है,  $\rho$  — घनत्व है।

डॉ. पिंड में, जिसकी अनुप्रस्थी मापें प्रसरण तरंगों की लंबाई से बहुत बड़ी हैं, अनुत्तरी तरंग का वेग होगा

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (3.21)$$

जहाँ  $\mu$  — द्रव्य का घनत्व,  $\rho$  — दबाव का मापक,  $\mu$  — पुआयान का गुणांक (दे. सारणी 17)।

तरंग पत्तरो में अनुत्तरी तरंगों का वेग

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho(1+\mu)}} \quad (3.22)$$

द्रव में अनुत्तरी तरंगों का वेग

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho\beta_0}} \quad (3.23)$$

जहाँ  $\beta_0$  — समतापक्रमी संपीड्यता\*,  $\gamma = c_p/c_v$

अनुप्रस्थी तरंगों का वेग :

$$v_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3.24)$$

जहाँ  $G$  — संपर्न का मापक (दे. पृ. 47)

गैस में ध्वनि तरंगों का वेग

$$v_g = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} \quad (3.25)$$

जहाँ  $\gamma = c_p/c_v$ ,  $p$  — दबाव।

सूत्र (3.25) आदर्श गैसों पर लागू किया जा सकता है और द्रव तरंगों में उसे निम्न रूप दिया जा सकता है (दे. पृ. 70)

$$v_g = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}} \quad (3.26)$$

द्रव की सतह पर तरंगें तब अनुत्तरी होती हैं, न अनुप्रस्थी। सतही तरंगों में पानी के कणों की गति अधिक जटिल होती है (दे. पिंड 30)

सतही तरंगों का वेग\*\*

\* संपीड्यता — दे. पृ. 47 समतापक्रमी संपीड्यता स्थिर तापक्रम पर होने वाली संपीडन प्रक्रिया है।

\*\* सूत्र (2.7) द्रव व गैस के विभाजन तल पर उठने वाली तरंगों के लिये भी लागू हो सकता है, यदि द्रव का घनत्व गैस के घनत्व से बहुत अधिक होना है।



$$v_{sat} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi c}{\lambda_p}} \quad (3.27)$$

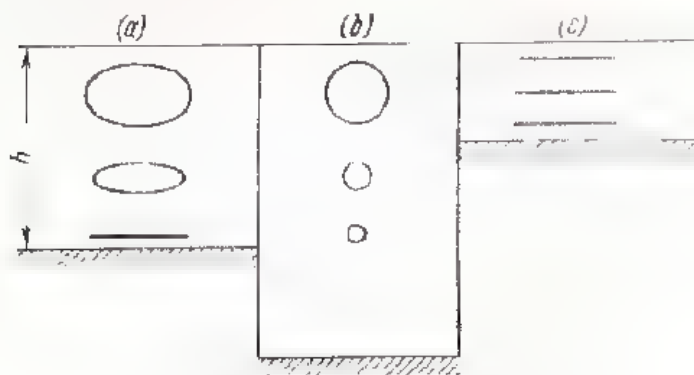
यहाँ  $g$ —स्वतंत्र अभिपतन का त्वरण  $\lambda = \lambda_p + \lambda_g$  तरंगों का ग्राहक,  $p = घनत्व$ ।

सूत्र (3.27) तभी लागू किया जा सकता है, जब द्रव की गहराई  $0.5\lambda$  से कम नहीं होती है।

यदि द्रव की गहराई  $h$  कम हो ( $0.5\lambda$  से), तो

$$v_{sat} = \sqrt{gh} \quad (3.28)$$

तरंग-प्रसरण की क्रिया में ऊर्जा का स्थानांतरण होता है पर माध्यम के कण तरंग-प्रसरण की दिशा में स्थानान्तरित नहीं होते, वे मनुष्य की स्थिति के गिर्द सिर्फ दोलन करते रहते हैं (यदि तरंगों का आयाम अत्यल्प है और माध्यम स्थान नहीं है)। तरंग द्वारा इकट्ठा समय से तरंगों गहराई के इकट्ठा क्षयफल के पार स्थानांतरित औसत ऊर्जा का माध्यक मान तरंग की तीव्रता कहलाता है। तीव्रता को  $W \text{ m}^2$  में व्यक्त करते हैं। ध्वनि तरंगों की तीव्रता ध्वनि की तीव्रता कहलाती है।



चित्र 3.1) समतली तरंगों के प्रसरण में कणों का गति

(a) कण गहरे पानी में (b) गहरे पानी में अनुप्रस्थ तरंगों का प्रसरण

(c) छिछले पानी में (अनुप्रस्थ तरंगों का प्रसरण)

याविक तरंगों के प्रसरण में माध्यम के कणों के दोलन तरंगों की दिशा में अनुप्रस्थ तरंगों के अनुसार चलते हैं, जिनके अनुसार विचलन में अनुप्रस्थ तरंगों का प्रसरण होता है।

यदि लंबीय आवृत्ति  $\omega$  वाली समतली तरंगों के प्रसरण में कणों के विचलन के आयाम का मान  $a_0$  माना है, तो दोलन की वेग के आयाम का मान होगा

$$a_0 = \omega a_0 \quad (3.29)$$

त्वरण का आयाम होगा

$$a_0 = \omega^2 a_0 \quad (3.30)$$

तीव्रता

$$I = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 a_0^2 \quad (3.31)$$

यहाँ  $\rho$ —माध्यम का घनत्व  $v$ —तरंगों की वेग।

## 6 स्थावर तरंग

स्थायी तरंग एक दमके की ओर दोड़ती दो तरंगों (एक तरंगों का आवृत्ति वाली) तरंगों की व्यतिक्रिया से बनती है।

यदि कोई समतली तरंग (आयाम के प्रत्येक बिंदु पर समान प्रसरण) तथा रखने वाली तरंग) अक्ष  $Ox$  की धन दिशा में प्रसरित होगी और दूसरी तरंग इसकी विपरीत दिशा में, तो इन तरंगों का संयोजन का रूप होगा

$$\begin{aligned} y_1 &= a_1 \cos(\omega t - kx + \phi_1) \\ y_2 &= a_2 \cos(\omega t + kx + \phi_2) \end{aligned} \quad (3.32)$$

स्थातांतरण  $y_1$  वाली तरंग को धावी तरंग कहते हैं और  $y_2$  वाली का -परार्धित तरंग।

दिशाक मूल और काल-मूल (जिस क्षण में समय तापना शुरू करने है) का इस प्रकार चुना जा सकता है कि आरंभिक प्रावस्थाएं  $\phi_1$  व  $\phi_2$  शून्य हो जायें। इससे समीकरण (3.32) का रूप कुछ सरल हो जाएगा और परिणामी तरंग के समीकरण का रूप होगा।

$$y = y_1 + y_2 = 2a_1 \cos(kx) \cos(\omega t) \quad (3.33)$$

समझ (3.33) ही समतली स्थावर तरंगों का समीकरण है। स्थावर तरंगों का आयाम

$$I = 2a_1 \cos(kx) \quad (3.34)$$

समघ (3.34) का समघ (3.12) से प्राप्त किया जा सकता है यदि  

$$x_1 = x_2 = x, \quad A_1 = A_2 = A$$

जिन बिंदुओं पर स्थावर तरंग का आयाम अधिकतम मान रखता है उन्हें **समघ** कहते हैं, ये अर्ध-चक्र  $x = m\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) से निर्धारित होते हैं। समतली स्थावर तरंग के समघ उन तलों पर बनते हैं, जिनके दिशांक अर्ध-चक्र  $x = m\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) को पूरा करते हैं।

स्थायी तरंग का आयाम जिन बिंदुओं पर शून्य होता है, उन्हें **समघ** कहते हैं; ये अर्ध-चक्र  $x = (m + \frac{1}{2})\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) से निर्धारित होते हैं। समतली स्थावर तरंग के समघ उन तलों पर बनते हैं, जिनके दिशांक अर्ध-चक्र  $x = (m + \frac{1}{2})\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) को सन्तुष्ट करते हैं।

समघ और समघ व्योम में एक-दूसरे के सापेक्ष चौथाई तरंग-लंबाई पर स्थानांतरित रहते हैं, समीकरण (3.33) से निष्कर्ष निकलता है कि

(a) भिन्न बिंदुओं पर दोलनों के आयाम एक जैसे नहीं होने, उनके मान 0 से  $2A$  के अंतराल में बदलता रहता है

(b) दो निकटतम समघों के बीच दोलनों की प्रावस्थाएँ समान होती हैं और समघ पार करत वक्त उनमें अर्ध-चक्रों में  $\pi$  जितना परिवर्तन होता है

(c) ऊर्जा का वहन नहीं होता, अर्थात् किसी भी काट (अनुच्छेद) में औसत ऊर्जा-प्रवाह शून्य के बराबर होता है, ऊर्जा सिर्फ समघ में निकटतम समघ की ओर प्रवाहित होती है और फिर वापस हो जाती है।

यदि परावर्तित तरंग का आयाम धावी तरंग के आयाम से कम हो तो समघों पर दोलनों का आयाम होगा  $(A_1 + A_2)$ , जहाँ  $A_1$  व  $A_2$  क्रमशः धावी व परावर्तित तरंगों के आयाम हैं। समघों पर दोलनों का आयाम होगा  $(A_1 - A_2)$ ।

अनुपात  $(A_1 + A_2)/(A_1 - A_2)$  को स्थावर तरंग का गुणांक कहते हैं।

## 7 ध्वनि

ध्वनि ऐसी यांत्रिक तरंग का कहते हैं, जिसकी आवृत्तियाँ 17-20 से 20000 Hz की सीमा में होती हैं। आदमी का कान यांत्रिक तरंगों की इन आवृत्तियों को अनुभव करने की क्षमता रखता है। 17 Hz से नीचे की

आवृत्ति वाली ध्वनि को **अवध्वनि** कहते हैं और 20000 Hz से ऊपर वाली को **पराध्वनि** कहते हैं।

ध्वनि की अनुभूति के साथ-साथ आदमी का मन ध्वनि की **बज्जिता** (loudness), **तापता** (pitch) और **स्वरिता** (timbre) में भेद भी करता है। ध्वनि की बज्जिता दोलनों के आयाम द्वारा निर्धारित होती है। **तापता** आवृत्ति द्वारा और **स्वरिता** आवृत्तियों के (अधिक उच्च आवृत्ति वाली) दोलनों के आयाम द्वारा।

ध्वनिक तरंगों के प्रसरण के कारण माध्यम में क्षणिक दबाव तरंगों की अनुपस्थिति में जो दबाव होता है, उसकी तुलना में होने वाला दबाव परिवर्तन **ध्वनि का दबाव** कहलाता है। ध्वनि दबाव का आयाम  $\Delta p_0$  शून्यी दबाव के आयाम  $p_0$  के साथ निम्न सूत्र द्वारा जुड़ा है

$$\Delta p_0 = p_0 a_0 \quad (3.35)$$

माध्यम में अवशोषण के कारण समतली ध्वनिक तरंगों की आवृत्ति निम्न नियम के अनुसार कम होती है -

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x} \quad (3.36)$$

जहाँ  $I_0$  माध्यम में प्रवेश करने वाली तरंगों की तीव्रता  $I_0$  तथा  $x$  पथ करने के बाद उनकी तीव्रता।

ध्वनि तरंगों का क्षीयन-स्तर निर्धारित करने वाली राशि  $\alpha$  को **ध्वनि के अवशोषण का गुणांक** (आयाम के अनुसार) कहते हैं।

मन में ध्वनिक तीव्रता की अनुभूति बज्जिता की अनुभूति व अनुभव होती है। तीव्रता के एक नियत निम्नतम मान पर आदमी का कान ध्वनि अनुभव करने में असमर्थ रहता है। इस निम्नतम तीव्रता की अवस्था को **दहलीज** (अवसीमा) कहते हैं। निम्न आवृत्तियों वाली ध्वनियों के लिए अवसीमा की दहलीज के मान भिन्न होते हैं। बहुत अधिक तीव्रता होने पर कान में दर्द की अनुभूति होती है। दर्द की अनुभूति के लिए आवश्यक निम्नतम तीव्रता को **दर्दनुभूति की अवसीमा** (दहलीज) कहते हैं।

ध्वनि-तीव्रता का स्तर दहलीज (db) नामक इकाई में निर्धारित करते हैं। इसीबलों की सख्या तीव्रता अनुपात के दशमिक लघुगणक की दस गुनी सख्या, अर्थात्  $10 \log(I/I_0)$  है। ध्वनिकी में हमें  $I_0$  की जगह  $1 \text{ pJ/m}^2 \text{ s}$  रखते हैं। यह 1000 Hz पर अवसीमा की दहलीज के अनुरूप वाली तीव्रता के लगभग है।

### सारणी और ग्राफ

सारणी 61. शब्द ब्रवों और तेलों में ध्वनि-वेग

द्रव	$t, ^\circ\text{C}$	$t, \text{m s}$	$t, \text{m s K}$
<b>शुद्ध द्रव</b>			
अल्कोहल सफ़ियन	20	11.3	3.0
अल्कोहल सफ़ियन	20	11.3	3.0
एसीटोन	20	10.6	4.6
एसीटोन	20	10.2	5.0
न्यू गामोन	34	12.5	—
क्लोरोफॉर्म	20	9.5	3.0
ग्लार	20	14.1	1.0
ग्लोबल सफ़ियन	17	15.0-15.0	—
ग्लोबल सफ़ियन	20	4.7	2.0
ग्लोबल	20	12.1	2.0
<b>तेल</b>			
एलम	31	7.7	—
सैमालन	34	15.0	—
ब्रतन	32.5	13.1	—
ट्रांसफॉर्मर के लिए	32.5	14.25	—
नक (एक झटका)	32	13.42	—
नारो (rapeseed)	30.5	14.5	—
नवदोर (नारो)	29	10.6	—
मगफना	31.5	15.6	—
मकफिलर	30.5	17.7	—

सामग्री 62 ठोस पदार्थों से ध्वनि-वंग (20 °C पर)

[illegible]

तालिका 6.3 भिन्न गहराइयों पर जमीन के गुण और भूकंपी तरंगों का वेग

$H$ , km	$\rho$ , Mg/m <sup>3</sup>	$v_1$ , km/s	$v_2$ , km/s	$p$ , GPa	$\alpha$ , m/s <sup>2</sup>
0.5	3.32	1.16	4.3	1.9	9.75
1.0	3.38	1.15	4.6	4.1	9.79
2.00	3.47	1.29	4.65	8.5	9.92
5.00	3.89	1.65	5.31	17.4	9.99
10.00	4.68	11.42	6.36	39.2	9.95
20.00	5.24	12.79	6.93	8	9.96
40.00	10.21	9.51		240	8.00
100.00	15.5	10.44		31	6.3

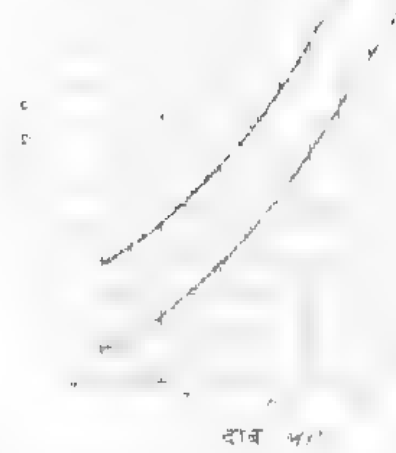
टिप्पणी : भूगर्भीय या प्रसंगिक ग्राविक तरंगों की भूकंपी तरंगें कहते हैं। ये भूतलीय भी हो सकती हैं (संपीडन की तरंगों वेग  $v_1$ ) और अनुप्रस्थी भी (अपवर्णन की तरंग वेग  $v_2$ ) गहराई  $H$  पर घनत्व  $\rho$ , दाब  $p$ , त्वरण  $a$  भी दिए जा रहे हैं।

तालिका 6.4 सामान्य दाब पर गैसों में ध्वनि वेग

गैस	$t$ , °C	$m$ , s	$\alpha$ , m/s <sup>2</sup> K
अमोनिया	0	415	
अल्कोहल, एथिल	67	269	1.4
अल्कोहल, मेथिल	97	333	1.40
आक्सीजन	0	316	1.50
कार्बन डाइऑक्साइड	0	259	1.4
जलवाष्प	1.4	494	
नाइट्रोजन	0	354	1.5
क्लोरीन	0	435	1.5
ब्रोमीन (वाष्प)	97	202	1.5
हवा	0	331	1.50
हाइड्रोजन	0	1284	2
हीलियम	0	965	1.3

टिप्पणी : 1. स्पष्ट दाब पर तापक्रम बढ़ने से गैसों में ध्वनि वेग बढ़ता है। इसी तरह अन्य तापक्रम पर वेग ज्ञात करने के लिए वेग परिवर्तन का तापक्रम गणना दिया गया है (देखा, 6.1)

2. उच्च आवृत्ति (या उच्च दाब) पर ध्वनि-वेग आवृत्ति में संचयित होता है। प्रदान गैसों में आवृत्ति व दाब के बिंदु हैं जिन पर ध्वनि वेग व्यावहारिक निश्चय नहीं हो पाता।



तालिका 6.5 ध्वनि तरंगों का वेग

गैस	$v$ , m/s
अमोनिया	415
अल्कोहल, एथिल	269
अल्कोहल, मेथिल	333
आक्सीजन	316
कार्बन डाइऑक्साइड	259
जलवाष्प	494
नाइट्रोजन	354
क्लोरीन	435
ब्रोमीन (वाष्प)	202
हवा	331
हाइड्रोजन	1284
हीलियम	965

(घोषणी 65 समाप्त)

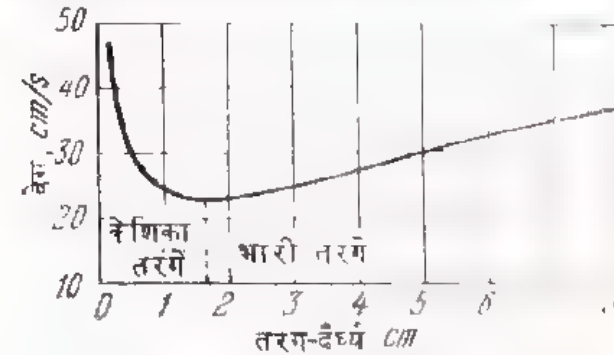
सं. घात Hz	नाम	प्रमुख कणों की विशेषताएँ	समाप्ति
2 10 <sup>4</sup> -10 <sup>10</sup>	पराध्वनि	चबूतीय विरूपक व दाब वैशुल क्षेत्र, गैरसम व, मोटी कुछ जीव तत्व, कोइ सकाड विमगादड लिमर, टिट्ट आदि	जन्मसम म म 10 <sup>4</sup> 10 <sup>10</sup> समरुत अवयव म परा म 10 <sup>4</sup> 10 <sup>10</sup> म 10 <sup>4</sup> 10 <sup>10</sup> म 10 <sup>4</sup> 10 <sup>10</sup>
1 10 <sup>11</sup> व अधिक	अल्ट्राध्वनि	अणुओं का तापीय दोलन कम	वेजः म

सारणी 11 ध्वनि-तीव्रता  $I$  और ध्वनि-दाब  $\Delta p$ 

दृष्टीवत	$I, W/m^2$	$\Delta p, Pa$	उदाहरण
0	10 <sup>-12</sup>	1.000002	आटमी के कान की संवेदना-सोमा
10	10 <sup>-11</sup>	0.000063	पत्तों की सरभराइट एक मीटर की दूरी पर धीसी रूप से गट।
20	10 <sup>-10</sup>	1.00000	गार पवन
30	10 <sup>-9</sup>	0.00063	जान कमरा हलक-कण में गोर का सामान्य मन, वायोकिन पर पियानागीमा (अत्यंत धर्मा शोदन)
40	10 <sup>-8</sup>	1.0002	वोमा संगीत। गहने के बसर में गार
50	10 <sup>-7</sup>	0.0063	निम्न स्तर पर वषरभरणी खन विडिकिया वाले रेस्तरा का ऑफिस में गार
60	10 <sup>-6</sup>	0.02	नेत्र रेडियो स्कान में गार। 1m की दूरी पर म साम्य स्वर में धान चीन।
70	10 <sup>-5</sup>	0.0645	टुक के मोटर का गार टूम में गार
80	10 <sup>-4</sup>	0.20	बहल पहल वाली गली टुक-विभाग
90	10 <sup>-3</sup>	0.645	मायर वा ह्रीन वट्ट 1.1 1.1 वादन।
100	10 <sup>-2</sup>	2.0	कोल टुक-वेद का गार। 1.1 1.1
110	10 <sup>-1</sup>	6.4	वातन (गार व 1.1 1.1)
120	1	20	1.1. डूर स्थित कर टुक। गार का पन बजन।
130	10	64.5	वट्ट की दहपराज ध्वनि समरुत नहा दका।

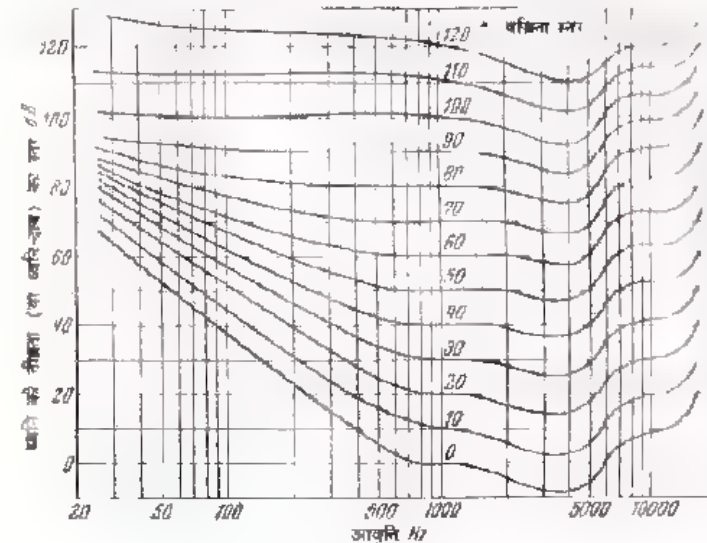
पानी की सतह पर तरंगों का वेग

तरंगों की लंबाई  $\lambda$  अल्प ( $2 \text{ cm}$  से कम) होने पर मूल भूमिका तर्कीय  
तनाव के बल की होती है, जो  $1/\lambda$  के साथीका तरंग रहने है।

चित्र 32. पानी तरंग का प्रकीर्णन  $\lambda > 1 \text{ cm}$ 

तरंगों की लंबाई अधिक होने पर मूल भूमिका मुख्यतः बल  $\rho g \lambda$  के  
असो तरंगों की भारी (या मुख्य) तरंग कहते हैं। जो  $1/\lambda$  के साथीका तरंग रहने है।

अव्य संवेदना के लिए ध्वनि-विश्रुता के स्तर



चित्र 33. वायु तरंग



तरंग की लंबाई पर निर्भर करता है (चित्र 32; सूत्र 3.27) यह उम हवा में, जब द्रव की गहराई पर्याप्त अधिक हो ( $h > 0.5 \lambda$ )।

चित्र 33 में समान वक्रिता के तीव्रता-वक्र दिखाये गये हैं। ऊपरी वक्र दृष्टान्त की दृष्टांश के अनुरूप है और निचला वक्र—श्रव्यता की दृष्टांश के आवृत्ति के मान लघुगणकी पैमाने पर दिये गये हैं।

सागणी 67. भिन्न माध्यमों के विभाजक तल पर लंब रूप से आपतित ध्वनि तरंगों का परावर्तन-गुणांक (%) में)

द्रव्य	अवरोधित	वक्र	सुसंकोचन का तल	माध्यम	निकल	पारा	कोयल	गोला
अवरोधित	0	72	74	18	24	1	21	2
वक्र	1	1	0.1	17	19	1	13	1
सुसंकोचन	74	1.0	1.0	18	90	76	11	17
निकल	12	31	90	0.8	0	19	0.2	34
पारा	1	73	76	13	19	0	16	4
कोयल	21	98	89	0.3	0.2	16	0	31
गोला	2	65	67	19	34	4	31	0

टिप्पणी :—(1) परावर्तन-गुणांक परावर्तित व आपतित ध्वनि तरंगों की आयामों के अनुपात को कहते हैं।

(2) एक माध्यम से दूसरे में प्रवेश करने वक्र और दूसरे से पलटने पर आल वक्र ध्वनि का परावर्तन गुणांक समान होते हैं।

(3) एक माध्यम से दूसरे में प्रवेश करने पर ध्वनि तरंगों के अनुपात पर निर्भर करेगा

सागणी 68. हवा में ध्वनि-अवशोषण का गुणांक  
( $\times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ ); 20 °C पर

आवृत्ति kHz	हवा की सापेक्षिक आद्रता				
	10	20	40	60	80
1	0.13	0.06	0.03	0.01	0.05
2	0.47	0.23	0.10	0.05	0.03
4	1.27	0.62	0.38	0.24	0.20
6	1.67	1.03	0.64	0.54	0.49
8	2.26	1.41	1.45	0.96	0.81
10	2.33	1.28	2.20	1.47	1.08

टिप्पणी : ये मान सामान्य दाब के निकटवर्ती मानों के लिये होते हैं।

सागणी 69. द्रव्यों की ध्वनि-अवशोषक क्षमता

द्रव्य	आवृत्ति, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
हवा की दाबा	0.024	0.025	0.032	0.041	0.049	0.0
पारा का कपड़ा	0.1	0.04	0.1	0.17	0.24	0.1
वायु (इक्विल)	0.03	—	0.027	—	0.02	—
कॉपर ऊत	0.32	0.40	0.51	0.60	0.75	0.60
(9 cm मोटा)	—	—	—	—	—	—
नमक (25 mm मोटा)	0.18	0.36	0.71	0.79	0.32	0.81
प्लास्टर, चने का	0.025	0.045	0.06	0.085	0.04	0.15
प्लास्टर जिप्स का	0.013	0.015	0.020	0.028	0.04	0.05
रोएदार कबले	0.09	0.08	0.21	0.27	0.27	0.37
लकड़ी के तबले	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
मगसमेंट	0.01	—	0.01	—	0.01	—

टिप्पणी :— ध्वनि अवशोषक क्षमता ध्वनि की अवस्थाएँ ऊर्जा और परावर्तक माध्यम पर आपतित ऊर्जा के अनुपात को कहते हैं।

सारणी 70. हवा में ध्वनि का अवशोषण

ध्वनि	$f, ^\circ\text{C}$	आवृत्ति का परास, $\text{MHz}$	$\alpha, \text{dB}/\text{m}$
शुद्धी का नेत्र	18.5	3	11000
नियंत्रित अवशोषण	20	7-100	52
नियंत्रित ध्वनि	20	10	140
नियंत्रित ध्वनि	25	4-20	50
नियंत्रित ध्वनि	25	6-20	110
नियंत्रित ध्वनि	25	4-20	1700
नियंत्रित ध्वनि	25	10	150
नियंत्रित ध्वनि	—	44.5	11
नियंत्रित ध्वनि	30	1-100	25
नियंत्रित ध्वनि	20	1.5-1000	5.5
नियंत्रित ध्वनि	3	10	100
नियंत्रित ध्वनि	20	100	10000
नियंत्रित ध्वनि	20	5-40	4

टिप्पणी :- सारणी में दिए गए मान 0.1-2 MPa के दबाव के लिए हैं। इन मानों पर अवशोषण स्वतंत्रिकता दाब पर नियंत्रित नहीं करता।

सारणी 71 समुद्री पानी से ध्वनि-तरंगों के अवशोषण का गुणांक  
(15-20  $^\circ\text{C}$  पर)

$k\text{Hz}$	20	24	100	200	230	400	1400
$\alpha, \text{dB}/\text{cm}$	0.023	0.050	0.37	0.69	25	2.00	2.90

## विद्युत

### A. वैद्युत क्षेत्र

#### मूल अवधारणाएँ और नियम

वैद्युत आवेश दो प्रकार के होते हैं - धन और ऋण। धन आवेश धन धारक से निकलता है और ऋण आवेश ऋण धारक से निकलता है। धन आवेश धन धारक पर उत्पन्न होता है और ऋण आवेश ऋण धारक पर उत्पन्न होता है। समान आवेशों के बीच में प्रतिकर्षण होता है और विपरीत आवेशों के बीच में आकर्षण होता है।

परमाणु में ऋण आवेश के वाहक एलेक्ट्रॉन होते हैं और धन आवेश के वाहक धन आवेश के तापिक से स्थिर होते हैं (दे. पृ. 147)। परमाणु में धन आवेशों का कुल योग शून्य होता है। आवेश इस प्रकार से वितरित रहता है कि परमाणु सामान्यतः उदासीन रहता है।

विद्युत क्षेत्र की प्रक्रिया में पिंडों के बीच धन व ऋण आवेशों का वितरण हो जाता है (जैसे धारण द्वारा विद्युत क्षेत्र में या धारण की मदद से)। (दे. पृ. 149)। ऐसा असमान वितरण एक ही पिंड के भिन्न भागों के बीच हो सकता है (जैसे वैद्युत प्रेरण से, दे. पृ. 114)।

वैद्युत आवेशों का कुल योग शून्य होता है, न तो धन होता है, न ऋण। धन आवेशों का कुल योग ऋण आवेशों के कुल योग के बराबर होता है। एक पिंड से दूसरे में या एक ही पिंड की भाग में या आवेशों के भीतर परमाणु के भीतर आदि (वैद्युत आवेशों के संरक्षण का नियम)।

आवेशों के वाहक भिन्न माध्यमों में भिन्न हो सकते हैं। परमाणु में अलग-अलग आवेशों के वाहक (जैसे धारण से) अणु या परमाणु के अणु या धन या ऋण आवेशों के वाहक हैं (अर्थात् आवेश, जैसे वैद्युत प्रेरण से, दे. पृ. 114)। धन आवेशों के वाहक धन आवेशों के वाहक हैं (जैसे धारण से, दे. पृ. 114)।

मान के अनुसार कोई भी आवेश एलेक्ट्रॉन के आवेश का अपवर्त्य होता है। एलेक्ट्रॉन के आवेश का मान निम्नतम है ( $e$ ); आवेश की इस अल्पतम स्वराक का प्राथमिक आवेश कहते हैं। प्रोटॉन का आवेश परम मान (मापाक) में एलेक्ट्रॉन के आवेश के बराबर होता है।

**आवेशों की व्यतिक्रिया, वैद्युत क्षेत्र बिंदु आवेश की व्यतिक्रिया का नियम (कूलम्ब का नियम)**। जड़वी मापतंत्र में जिसके सापेक्ष आवेश स्थित हैं परस्पर व्यतिक्रिया का बल

$$F_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} \cdot r_0$$

$$\text{और} \quad F_{21} = -\frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} \quad (4.1)$$

होता है, जहाँ  $r_0$  = विज्य मदिश  $r_{12}$  का इकाई मदिश,  $F_{12}$  = आवेश  $Q_1$  के वैद्युत क्षेत्र में उससे दूरी  $r_{12}$  पर स्थित आवेश  $Q_2$  पर क्रियाशील बल  $r_{12}$  = आवेश  $Q_1$  से आवेश  $Q_2$  तक सीधा गया विज्य मदिश,  $\epsilon_0$  = वैद्युत स्थिरांक (निर्वात की पारवैद्युत वेधिता),  $\epsilon$  = माध्यम की आपेक्षिक पारवैद्युत वेधिता,  $\epsilon$  दिखाता है कि निर्वात की तुलना में समसंबंध असीम माध्यम बिंदु आवेशों की व्यतिक्रिया को किसना गुना कम करता है। बल  $F_{21}$  आवेश  $Q_2$  के वैद्युत क्षेत्र में स्थित आवेश  $Q_1$  पर क्रियाशील बल है, जो मान में  $F_{12}$  के बराबर होता है।  $F_{12}$  व  $F_{21}$  बलों की दिशाएँ परस्पर विपरीत हैं और उनका क्रिया रेखा आवेशों से होकर गुजरती है। गतिमान आवेशों की व्यतिक्रिया के बारे में देखें पृ. 178।

अंतर्राष्ट्रीय इकाई-प्रणाली में वैद्युत स्थिरांक

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi (10^9)} \frac{\text{फ़राड}}{\text{माटर}} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

अथवा आवेश की इकाई कूलम्ब (C) है 1C ऐसा आवेश है जिस 1A की धारा चालक के अनुप्रस्थ काट में 1s में गुजरती है (देखें पृ. 174)।

यदि व्याम में अचल वैद्युत आवेशों पर बलों की क्रिया प्रक्षिप्त होती है तो कहते हैं व्याम में वैद्युत क्षेत्र उपस्थित है।

विद्युत में आविष्ट पिंड हमेशा वैद्युत क्षेत्र में घिरे रहते हैं अचल आवेशों के क्षेत्र का विद्युत्स्थितिक क्षेत्र कहते हैं। दिये हुए बिंदु पर वैद्युत क्षेत्र की

नीचला सांख्यिक रूप में उस क्षेत्र से बराबर होती है, जो उस बिंदु पर रखे गये इकाई धनावेश पर क्रिया करता है

$$E = \frac{F}{Q} \quad \text{और} \quad E = \frac{F'}{Q'} \quad (4.2)$$

नीचला मदिश राशि है इसकी दिशा धनावेश पर क्रियाशील बल की दिशा जैसी होती है। दो या अधिक विद्युत आवेशों के क्षेत्रों की नीचला मदिशों की भांति संयोजित होती है (देखें सूत्र 4.3)

बिंदु-आवेश के वैद्युत क्षेत्र की नीचला (दिए गए बिंदु पर)

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot r_0$$

और

$$E_r = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (4.3)$$

जहाँ  $r$  = आवेश  $Q$  से विचाराधीन बिंदु तक सीधा गया विज्य मदिश

$r_0$  = इकाई मदिश

समसंबंध आविष्ट अचल बलों के वैद्युत क्षेत्र की नीचला

$$E_r = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (4.4)$$

जहाँ  $\sigma$  = आवेश का नवीय घनत्व, अर्थात् बल के इकाई क्षेत्र पर आवेशों का आवेश है।

समसंबंध आविष्ट बलों के वैद्युत क्षेत्र की नीचला

$$E_r = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot r_0$$

और

$$E_r = \frac{Q}{\epsilon_0 r^2} \quad (4.5)$$

जहाँ  $r$  = आवेश केन्द्र से विचाराधीन बिंदु तक सीधा गया विज्य मदिश

$r_0$  = इकाई मदिश

लव समसंबंध आविष्ट बलों के वैद्युत क्षेत्र की नीचला

$$E_r = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot r_0$$

412

$$E_{\text{elec}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

जहाँ  $r$  — आवेश के वैद्युतिक घनत्व अर्थात् आवेश के घनत्व

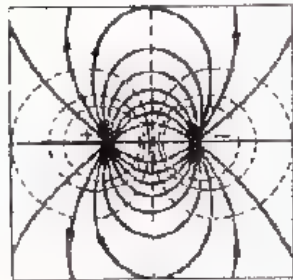
आवेश,  $r$  — दायन के अक्ष से उसकी लम्ब दिशा में बिन्दुआवेश बिन्दु से दूरी

सदिश  $D = \epsilon_0 E$  का वैद्युत स्थानांतरण कहते हैं (पुराना नाम विद्युत प्रेरण है)

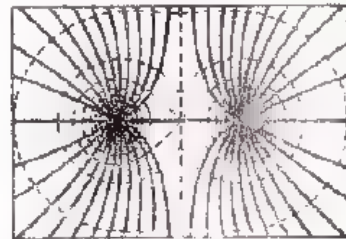
जैसा, जिसके प्रत्येक बिन्दु की स्थिति-रेखा तीव्रता को दर्शाती है, विद्युत क्षेत्र की बल-रेखा कहना है (चित्र 34-36 में नीचे, मध्यस्थता वाली बल रेखाएँ दिखायी गयी हैं)



चित्र 34. बिन्दु आवेश के वैद्युत क्षेत्र का बल रेखा।



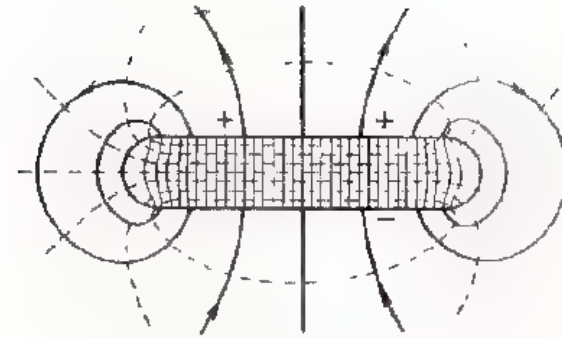
(a)



(b)

(चित्र 35) बल रेखाएँ (a) विपरीत चिह्न वाले दो बिन्दु आवेशों के बीच

(b) समान चिह्न वाले दो बिन्दु आवेशों के बीच



चित्र 36. दो धनावेशों के वैद्युत क्षेत्र।

कार्य और वोल्टता विद्युत-क्षेत्र के बलों द्वारा आवेश के स्थानांतरण का मापन में वायु मान्य होता है। विद्युत-वैद्युतिक क्षेत्र में कार्य पथ का मापन करने की प्रणाली, जिस पर आवेश स्थानांतरित होता है, वैद्युत क्षेत्र के किसी भी बिन्दु पर स्थित आवेश की अपनी स्थितिज ऊर्जा होता है।

क्षेत्र के लिए हम बिन्दु पर विभव उस बिन्दु पर रखे गए इकाई आवेश की स्थितिज ऊर्जा के बराबर मान वाली अदिश राशि का कहते हैं। विभव शून्य बिन्दु वाले बिन्दु के चयन पर निर्भर करता है और हमका चयन मान्य हो सकता है। भौतिकी में अक्सर अनन्त दूर स्थित बिन्दु के विभव को शून्य माना जाता है। विद्युत-तकनीक में मान्य है कि पृथ्वी और अनन्त विभव शून्य होता है।

विद्युत क्षेत्र के दो बिन्दुओं के विभव में अन्तर को वोल्टता (या विभवान्तर) कहते हैं। मुख्य रूप से वोल्टता कार्य के बराबर होती है, जिससे इकाई धनावेश को एक बिन्दु से दूसरे तक लाने में सम्पन्न करने है।

विद्युत-वैद्युतिक क्षेत्र में आवेश को स्थानांतरित करने में सम्पन्न कार्य है

$$W = QV$$

(1)

यहाँ  $V$  वोल्टता का वोल्ट (V) में व्यक्त करने है  $V$  मापन है। बोल्ट का विभवान्तर है, जब 1C धनावेश को एक बिन्दु से दूसरे तक लाने में कार्य सम्पन्न करता है।

जिस तरह पर हर बिन्दु का विभव एक जैसा होता है उसे सविभवी तल कहते हैं। चित्र 34-36 में सविभवी तल रेखा-रेखा द्वारा दिखायी गये हैं।

विद्युत्स्थानिक क्षेत्र में वोल्ट-रेखाएँ संविभववी तलों के साथ लंब होती हैं। संविभववी तल पर आवेश का स्थानान्तरित करने में वैद्युत बलों द्वारा संपन्न कार्य शून्य होता है।

यदि  $A$  व  $B$  क्षेत्र के दो बिंदु हैं, तो बिंदु  $A$  पर क्षेत्र की तीव्रता और दोनों बिंदुओं के बीच का विभवान्तर मन्निकट सूत्र

$$L = \frac{\Delta U}{\Delta l}$$

द्वारा जुड़ा है। अधिक सही सूत्र है -

$$|E| = - \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta l} = - \frac{dU}{dl} \quad (4.8)$$

जहाँ  $\Delta U$  निकटस्थ बिन्दुओं  $A$  व  $B$  के बीच विभवान्तर,  $\Delta l$ —इन बिन्दुओं में गुजरने वाले संविभववी तलों के बीच की दूरी (वोल्ट-रेखा पर)। राशि  $dU/dl$  वा विभव का तत्तन कहते हैं।

यदि विद्युत-क्षेत्र समसर्पक (एकरस) है, अर्थात् क्षेत्र के हर बिंदु पर तीव्रता मान व दिशा में स्थिर है (जैसे चपटे धारित्र में), तो  $E = U/l$  होगी, जहाँ  $l$ —वोल्ट-रेखा के खंड की लम्बाई है।

अ. प्र. में क्षेत्र की तीव्रता वास्तु प्रति मीटर ( $V/m$ ) में व्यक्त होती है।

$V/m$  ऐसे एकरस क्षेत्र की तीव्रता है जिसमें वोल्ट-रेखा के  $1\text{ m}$  लम्बे खण्ड के सिरे का विभवान्तर  $1V$  है।

**धारिता** जब दो चालकों के बीच स्थिर विद्युत-क्षेत्र की सभी वोल्ट-रेखाएँ एक चालक में शुरू होती हैं और दूसरे पर समाप्त होती हैं, तब इन चालकों को धारित्र कहते हैं और दोनों में से प्रत्येक चालक को धारित्र का पत्तर कहते हैं। साधारण धारित्र में पत्तरों पर आवेश की मात्राएँ समान होती हैं, पर उनके चिह्न विपरीत होते हैं।

धारित्र की धारिता (विद्युत-धारिता) किसी एक पत्तर के आवेश और दोनों पत्तरों के विभवान्तर का अनुपात है, अर्थात्

$$C = \frac{Q}{U} \quad (4.9)$$

विद्युत-धारिता की इकाई फराड ( $F$ ) है।  $1F$  एम धारित्र की धारिता

जिसके प्रत्येक पत्तर पर  $1C$  आवेश होना पर पत्तरों का विभवान्तर  $1V$  होता है।

चालक की सतह की आकृति के अनुसार चपटे, बेलनाकार व वर्तली (गोल) धारित्रों में भेद किया जाता है।

चपटे धारित्र की धारिता

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad (4.10)$$

है जहाँ  $S$ —किसी एक पत्तर की सतह का क्षेत्रफल (यदि पत्तरों में आवेश समान है तो छोटे वाले का),  $d$ —पत्तरों की आपसी दूरी,  $\epsilon_r$ —पत्तरों के बीच स्थित द्रव्य की पारवैद्युत धारिता।

बेलनाकार धारित्र और समाक्षीय केबिल की धारिता :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln(b/a)} \quad (4.11)$$

जहाँ  $b$ —बाह्य बेलन की त्रिज्या  $a$ —आन्तरिक बेलन की त्रिज्या  $l$ —धारित्र की लम्बाई।

वर्तली धारित्र की धारिता :

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r ab}{a+b} \quad (4.12)$$

जहाँ  $a$  व  $b$  आन्तरिक व बाह्य वर्तलों की त्रिज्याएँ।

विजली की दुतारी लाइन की धारिता

$$C = \frac{\pi\epsilon_0\epsilon_r d}{\ln \frac{a}{r}} \quad (4.13)$$

जहाँ  $d$ —दुतारी तारों के अक्षों की आपसी दूरी,  $a$ —उनकी त्रिज्याएँ,  $r$ —लम्बाई।

$C_1, C_2, C_3 \dots C_n$  धारिता वाले धारित्रों का समान्तर क्रम में जोड़ने पर कुल धारिता

$$C_{\text{कुल}} = C_1 + C_2 + C_3 \dots C_n \quad (4.14)$$



आर शून्यत्व क्रम में जानते पर

$$\frac{1}{C_{\text{सम}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4.9)$$

आवृत्त धारिता की ऊर्जा

$$U = \frac{1}{2} C E^2 \quad (4.10)$$

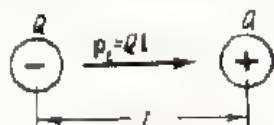
व्यास में जहाँ विद्युत-क्षेत्र होता है वहाँ ऊर्जा सम हल रहती है। इस ई आयनन में वितरित ऊर्जा की मात्रा को ऊर्जा का आयतनी घनत्व  $w$  कहते हैं। तीव्रता  $E$  वाले एकसम क्षेत्र में ऊर्जा का आयतनी घनत्व

$$w = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (4.17)$$

है, जहाँ  $E$  क्षेत्र की तीव्रता है।\*

विद्युत-क्षेत्र में चालक व पृथक्कारी विद्युत-क्षेत्र में रख गये चालक में विपरीत चिह्न के आवेश प्रेरित होते हैं। ये आवेश चालक की सतह पर इस प्रकार वितरित होते हैं कि चालक के भीतर विद्युतस्थैतिक क्षेत्र की तीव्रता शून्य होती है और चालक की सतह सविमयी तल होती है।

क्षेत्र में रखा गया पृथक्कारी (पारविद्युक) भूविन होता है ध्रुवण का अर्थ है कि अणु में उपस्थित सरञ्जनात्मक आवेश स्थानान्तरित होकर मापाक में समान, पर विपरीत चिह्न वाले दो बिन्दु आवेशों के विद्युत-क्षेत्र जैसा एक



चित्र 37. वैद्युत द्विध्रुव

क्षेत्र बना देते हैं (देखिये 35a)। विपरीत चिह्न वाले दो बिन्दु-आवेश जैसा विद्युत क्षेत्र रखने वाले आवेशों का व्यूह सामान्यतः वैद्युत द्विध्रुव कहलाता है (चित्र 37)।

\*यदि समान क्षेत्र के लिए बिन्दु पर ऊर्जा के घनत्व की अवधारणा प्रयुक्त होती है

$$w = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta V}$$

एक  $\Delta V$  में बिन्दु पर बिन्दु पर धारण करने की प्रवृत्ति पर आधारित  $\Delta V$  में सर्वोच्च ऊर्जा यदि  $E$  का अर्थ इसी बिन्दु में तीव्रता माना जाये तो सूत्र (4.17) समान क्षेत्र के प्रयोज्य भी रहता है।

द्विध्रुव एक सदिष्ट राशि द्वारा लक्षित होता है, जिसे द्विध्रुव का विद्युताघूर्ण ( $p_e$ ) कहते हैं और

$$p_e = Ql \quad (4.8)$$

जहाँ  $l$  आवेशों के बीच की दूरी है। सदिश  $p_e$  की दिशा द्विध्रुव के ऋणावेश में धनावेश तक खींचे गये विज्य सदिश की दिशा के साथ समान होती है।

पूरे द्विध्रुव के ध्रुवण का मूल्यांकन सदिष्ट राशि  $P$  की सहायता से किया जाता है, जो इकाई आयतन में उपस्थित सभी विद्युताघूर्णों के सदिष्ट योग के बराबर होता है अर्थात्

$$P = \sum p_e$$

इस राशि को ध्रुवणता कहते हैं। पारविद्युक की ध्रुवणता  $P$  और विद्युत क्षेत्र का स्थानांतरण  $D$  निम्न संबंध रखते हैं

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (4.19)$$

कुछ पारविद्युतों में जहाँ विद्युत-क्षेत्र की अनुपस्थिति में भी द्विध्रुव होते हैं। ऐसे द्रव्यों के ध्रुवण का कारण आणविक द्विध्रुवों का क्षेत्र की दिशा में उत्पन्न हो जाना है।

**सेग्नेटोविद्युक** सरञ्जनात्मक शब्द सेग्नेट लवण (Seignette salt) से मिले बना है, जिसमें पहली बार स्वतःस्फूर्त ध्रुवण की संज्ञा मिली थी। सेग्नेटोविद्युक का विद्युत-क्षेत्र की अनुपस्थिति में भी लवण में (दर्शनीय) व्यासों से बना हो सकना है, जो अपना विद्युताघूर्ण रखे हुए। स्वतःस्फूर्त ध्रुवण के इन क्षेत्रों का प्रागण (domain) कहते हैं (देखिये भाग 1 पृष्ठ 186)। क्षेत्र की अनुपस्थिति में विद्युताघूर्णों की दिशाएँ  $\pm$  होती हैं और वर्माग्रिण पर सेग्नेटोविद्युक का विद्युताघूर्ण शून्य के बराबर होता है। वास्तविक क्षेत्र में सेग्नेटोविद्युक कुल मिलाकर प्रागण ध्रुवण

1 सेग्नेट लवण डाइहाइड्रॉक्सीबुटेनोइक एसिड (dihydroxybutanoic acid)  $\text{HOOC} \cdot \text{CHOH} \cdot \text{CHOH} \cdot \text{COOH}$  का एक लवण गैरिजियम गैरिजियम सेग्नेट

जिस रासेल लवण (Racemic salt) भी कहते हैं। स्वतःस्फूर्त ध्रुवण का गुण अम्ल लवण में भी है जैसे कोशिक (टिटलम)। इन सभी लवणों की कलावच्छिन्न या गीरे विच्छिन्न कहा जाता है। —अन



गणना

द्रव्य	$\epsilon$	$\Gamma_{\text{max}}$ MV/m	$\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	$\alpha$ 1/°C
रेशम का तंतु (C)	6.0	15-20	2.5-2.6	—
ग्लास	3.5	—	1.1	—
विशाल प्लास्टिक (P)	4.1	15	—	—
सामान्य प्लास्टिक	3-4	6-10	2.7	1.5-2.0
मिल्क	4.5	—	—	—
मसल	3.4	30	—	$2 \times 10^{-10}$
स्लेट	6.7	5-14	2.6-2.9	$10^{-10}$

टिप्पणी - 1. रेशम तंतु अधिकतम अत्यंत मीठता है इससे अधिक मीठता होने पर पारविद्युत अपने दिष्ट पृथक्कारी गुण खो देता है।

2. काष्ठ में दिष्ट गत वर्ष - P—प्लास्टिक, C—चौकी बिट्टी R—रबर प्लास्टिक।

3. पारविद्युत वेरिग के प्रत्यक्ष मान 10-20°C के लिये हैं। ठान पदार्थों में वेरिग वैधता नापकप के साथ बढ़ती व कम हो जाती है। (गणना में वेरिग का मान 1.44 है, चित्र 38)।

4. विशिष्ट प्रतिरोध के बारे में देखें पृ. 144।

#### सारणी 74 शुद्ध त्रुटियों की पारविद्युत वैधता

द्रव्य	तापक्रम °C						
	0	10	20	25	30	40	50
एथिल अल्कोहल	27.88	26.41	25.00	24.25	23.52	22.10	20.87
एथिल ईथर	4.80	4.58	4.33	4.27	4.15	—	—
फेनोल	23.3	22.5	21.4	20.9	20.5	19.3	18.7
कार्बन टेट्राक्लाइड	—	—	2.24	2.23	—	2.10	2.18
क्लोरोफॉर्म	—	—	2.0	—	—	—	—
ग्लिसरीन	—	—	2.0	—	—	—	—
पानी	87.83	83.86	80.03	78.23	76.47	74.07	71.7
सिलिका	—	2.30	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22

टिप्पणी - 1. शुद्ध माध्यम में अशुद्धियां पारविद्युत वैधता के मान को अत्यंत प्रभावित करती हैं।

#### सारणी 75 गैसों की पारविद्युत वैधता (18 °C व सामान्य दाब पर)

द्रव्य	$\epsilon$	द्रव्य	$\epsilon$
वायुमंडल	1.00055	हवा	1.00059
कार्बन डाइऑक्साइड	1.00097	हाइड्रोजन	1.00026
जलवाष्प	1.00178	हीलियम	1.00007
नाइट्रोजन	1.00061		

टिप्पणी - गैसों की पारविद्युत वैधता तापक्रम-वृद्धि के साथ घटती है और दाब वृद्धि के साथ बढ़ती है।

#### सारणी 76 सेमेटोविद्युत क्रिस्टलों के गुण

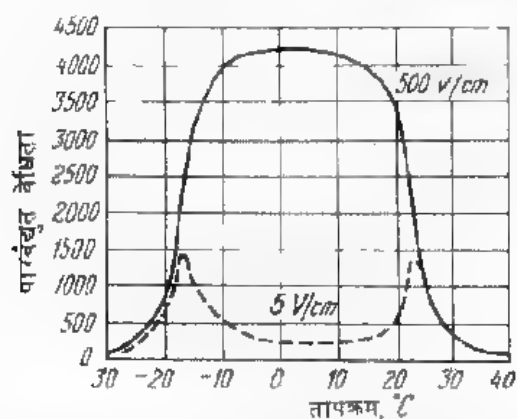
( $T_C$  वयसी बिंदु  $p_s$  गहन स्फूर्त घावण  $\epsilon$  पारविद्युत वैधता।)

क्रिस्टल	$T_C$ °K	$p_s$ nC/m <sup>2</sup>	$\epsilon$
NaKClO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	296 (ऊपर)	2.6	1.0
मसल लवण	258 (निचला)	—	—
LiNH <sub>4</sub> (C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> O <sub>6</sub> )·H <sub>2</sub> O	106	2.1	—
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	123	528	4.0
KH <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub>	95.6	—	14
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	148	—	56
LiFeO <sub>3</sub>	391	1.58	100
KNbO <sub>3</sub>	708	257	—
LiNbO <sub>3</sub>	1470	500	34

टिप्पणी - 1. कुछ समेटोविद्युतों के गुण विषय तापक्रम-वृद्धि के साथ प्रकट होते हैं। इन स्थितियों में क्यूरी-तापक्रम के उच्चतम व निम्नतम मान दिष्ट गये हैं।

2. पारविद्युत वैधता के निकटवर्ती मान दिये गये हैं।

सेरिस्ट लवण और बेरियम टिटानेट की पारबन्धित वैधता



चित्र 313. रोशेल लवण के अस्थिर प्तर की पारबन्धित वैधता की तापक्रम पर निर्भरता। दोनों वक्र क्षेत्र की भिन्न तीव्रताओं के लिए हैं।

साधनों 7. क्रिस्टलों के दाब-बंधित मोडल

क्रिस्टल	$d_1$ , pC/N	क्रिस्टल	$d_1$ , pC/N
बेरीलियम फ्लोराइड	4.8 (d <sub>36</sub> )	बेरीलियम फ्लोराइड	21 (d <sub>36</sub> )
बेरीलियम मल्फाइट	.4 (d <sub>15</sub> )	बेरीलियम टिटानेट	390 (d <sub>15</sub> )
कोरुम	2.31 (d <sub>11</sub> )	रोशेल लवण	341 (d <sub>14</sub> )
कोरुम	3.3 (d <sub>11</sub> )	कोरुम वायुमंडल	63 (d <sub>15</sub> )
कोरुम	3.3 (d <sub>15</sub> )	कोरुम वायुमंडल	15 (d <sub>22</sub> )

नियम 1. क्रिस्टल की दाब-बंधित वैधता (दाब-बंधित वैधता) की दिशा में निर्धारित करने के लिए दाब-बंधित वैधता का महत्त्व मान दिया गया है (किसी भी दाब-बंधित वैधता के लिए)।

\* जिस क्षेत्र पर दाब-बंधित वैधता का महत्त्व मान दिया गया है, वह उस क्षेत्र में नहीं होता है, जहाँ दाब-बंधित वैधता का महत्त्व मान दिया गया है।

## B स्थिर विद्युत-धारा

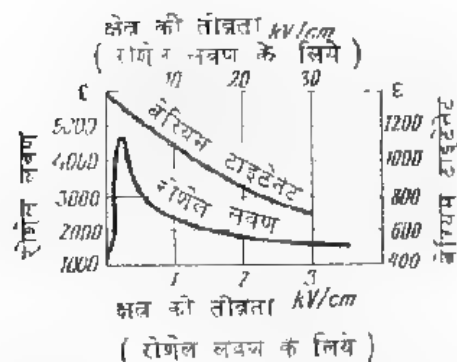
### मूल अवधारणाएँ और नियम

#### 1. धातुओं में धारा

विद्युत-धारा का बल और विद्युतवाहक बल, आवेग-वाहक की कालिका में समन्वित गति विद्युत धारा कहलाती है। धातुओं में ऐसे वाहक एलेक्ट्रॉन होते हैं, जो कृष्णविद्युत कणिकाएँ हैं, जिनका आवेग आर्थात् आवेग-वाहक के द्वारा ही होता है। धारा की दिशा शीतलान्तरित कृष्णविद्युत की गति का दिशा में विपरीत मानी जाती है। यदि क्षेत्र  $E$  से क्षेत्र  $E + \Delta E$  समय में आवेग-वाहक अनुप्रस्थ-काट में विद्युत की मात्रा  $\Delta Q$  गुजरती है, तो सीमा

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

यह धारा का बल कहलाती है।



चित्र 314. क्षेत्र की तीव्रता पर बेरियम टिटानेट और रोशेल लवण की पारबन्धित वैधता की निर्भरता (2) (3)





धारा-बल चालक के सिरों की तीव्रता (वोल्टता) का समानुपाती होता है, अर्थात्

$$I = \frac{U}{r} \quad (4.26)$$

इस संबंध में राशि  $1/r$  समानुपातिकता का सगुणक है और इसे चालकता कहते हैं। राशि  $r$  बंधुत प्रतिरोध कहलाती है।

अब प्र से प्रतिरोध की इकाई ओम ( $\Omega$ ) है।  $1 \Omega$  ऐसे चालक का प्रतिरोध है, जिसके सिरों पर तीव्रता  $1 \text{ V}$  होने पर उसमें  $1 \text{ A}$  की धारा निश्चित हो जाती है।

स्थिर अनुप्रस्थ काट वाले चालक का प्रतिरोध :

$$r = \rho \frac{l}{S}, \quad (4.27)$$

जहाँ  $\rho$  = विशिष्ट प्रतिरोध या प्रतिरोधिता (इकाई अनुप्रस्थ काट वाले चालक की इकाई लंबाई में विद्युत-प्रतिरोध),  $l$  = चालक की लंबाई,  $S$  = अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल।  $\rho$  को ओम-मीटर ( $\Omega \text{ m}$ ) में व्यक्त करते हैं। राशि  $\sigma = 1/\rho$  विशिष्ट चालकता कहलाती है। तापक्रम बढ़ाने पर अधिकतर धातुओं का विशिष्ट प्रतिरोध और भी अधिक हो जाता है। प्रतिरोध में इस प्रकार का परिवर्तन मत्निकट रूप से निम्न संबंध द्वारा निरूपित हो सकता है

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad (4.28)$$

जहाँ  $\rho_t$  = तापक्रम  $t$  पर विशिष्ट प्रतिरोध,  $\rho_0 = 0^\circ \text{C}$  पर विशिष्ट प्रतिरोध,  $\alpha$  = प्रतिरोध का तापक्रमी गुणांक (जो चालक को  $1^\circ \text{C}$  अधिक गर्म करने पर प्रतिरोध में होने वाले परिवर्तन में आरम्भिक प्रतिरोध से भाग देने पर प्राप्त सांख्यिक मान के बराबर होता है)। विशेष रूप तापक्रम पर कुछ चालकों का विशिष्ट प्रतिरोध छानों में मारता हुआ घटने लगता है और शून्य के बराबर हो जाता है। इस मवृत्ति को अतिचालकता कहते हैं।

प्रतिरोधों को श्रृंखला क्रम में जोड़ने पर कुल प्रतिरोध

$$R_{\text{ser}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (4.29)$$

होता है और समान्तर क्रम में जोड़ने पर

$$\frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4.30)$$

होता है।

परिपथ के जिस भाग में विवाह क्रियाशील होता है उसके लिए ओम के नियम का रूप है

$$I = \frac{U}{R}, \quad (4.31)$$

जहाँ  $R$  = विचारणीय भाग का प्रतिरोध,  $U$  = इस भाग की तीव्रता (वोल्टता),  $I$  = विद्युत्वाहक बल,  $I$  = धारा बल। ध्यान दें कि इस सूत्र में  $U$  व  $I$  का चिह्न धन या ऋण में कोई भी हो सकता है। विवाह धनात्मक माना जाता है, जब वह विभव की धारा (1) दिशा में बढ़ता है (धारा बल के ऋण में  $U$  की ओर बढ़ती है)। तीव्रता (वोल्टता) को धनात्मक नब मानते हैं, जब आवृत्ति के भीतर धारा विभव-ह्रास की दिशा में बढ़ती है (धन से ऋण की ओर)। उदाहरणार्थ, संचायक को आविष्ट करने वकत (चित्र 41) आवेशक धारा



चित्र 41 संचायक का आविष्ट

$$I_0 = \frac{U - U_0}{R_{\text{ser}}} \quad (4.32)$$

होगी, जहाँ  $U$  = आविष्ट करने वकत स्रोत के सिस्स्थो पर तीव्रता,  $U_0$  = संचायक का विवाह,  $R_{\text{ser}}$  = संचायक का प्रतिरोध (या एक बार के प्रतिरोध उपेक्षित है)। इसी स्थिति में भाग  $A DB$  के लिए

$$I = \frac{U_0 - U}{R_{\text{an}}} \quad (4.33)$$

जहाँ  $U_0$  = स्रोत का विवाह,  $R_{\text{an}}$  = स्रोत का आन्तरिक प्रतिरोध।

सर्वत अवशाखित परिपथ में (इस स्थिति में  $U = 0$ ) सवृत्त (4.33) का निम्न रूप में लिखा जाता है :

$$I = \frac{U_0}{R + R_{\text{an}}} \quad (4.34)$$

जहाँ  $R$  = परिपथ का बाह्य प्रतिरोध है।

**विद्युत-धारा का कार्य** परिपथ के किसी खंड में स्थिर धारा द्वारा संपन्न कार्य

$$A = IUt, \quad (4.35)$$

जहाँ  $t$  = धारा बहने का समय  $U$  = विद्युत-धारा पर त्वरिता,  $I$  = धारा-बल

यदि खंड पर विद्युत अनुपस्थित है, तो चालक की आंतरिक ऊर्जा परिवर्तन (ताप विमर्जन) से संबंधित कार्य, जिसे धारा संपन्न करती है

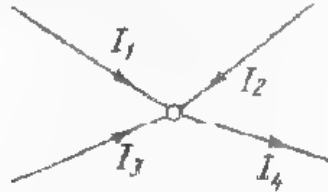
$$A = \frac{U^2}{R} t. \quad (4.36)$$

आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन से संबंधित कार्य (खंड पर विद्युत उपस्थित हो या अनुपस्थित, दोनों ही हालतों में)

$$A = I^2 R t. \quad (4.37)$$

अ. प्र. में कार्य (और ऊर्जा की भी, इकाई जूल (J) है; 1 V त्वरिता वाले खंड में 1 A की स्थिर धारा द्वारा 1 s में संपन्न कार्य का 1 J मानते हैं

**किर्खहोफ के नियम.** विशालित परिपथ के लिए धारा, त्वरिता व विद्युत का कलन किर्खहोफ के नियमों के आधार पर होता है।



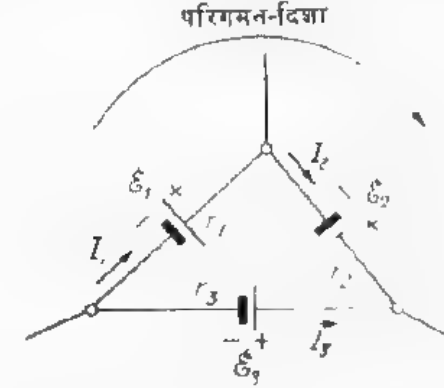
चित्र 42. धाराओं का गणन (संकेत)।

**प्रथम नियम** किसी विशालित-बिंदु पर समस्त परिपथ खंडों में धारा-बलों का बीजगणितीय योग शून्य के बराबर होता है। उदाहरणार्थ (चित्र 42 में) :

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0. \quad (4.38)$$

**दूसरा नियम :** विशालित परिपथ के किसी संवृत आकृति में धारा-बलों व उनके तदनुरूप प्रतिरोधों के गुणनफल का बीजगणितीय योग आकृति के सभी विद्युत के बीजगणितीय योग के बराबर होता है।

उपरोक्त योग ज्ञात करते वक्त उन धाराओं का धनात्मक मानना चाहिए, जिनकी दिशाएँ आकृति का चक्कर लगाने के लिए औपचारिकतः चुनी गयी दिशा के साथ संपात करती हैं। धनात्मक उन विद्युत को मानते हैं, जो



चित्र 43. बहिर्मुखी परिपथ में धारा की लची एक आकृति।

विभव की आकृति का चक्कर लगाने की दिशा में ऊँचा करने है (अर्थात् चक्कर लगाने की दिशा छोट के धन ध्रुव से ऋण ध्रुव की दिशा व मान संपात करती है)। उदाहरण के लिये (चित्र 43 में)

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 = e_1 - e_2 - e_3. \quad (4.39)$$

समान ताता की शृंखल कम में जावने पर

$$I(nR_1 + R) = ne^e \quad (4.40)$$

जहाँ  $n$  = खानों की संख्या  $R$  = किसी एक खान का आंतरिक प्रतिरोध,  $R$  = बाह्य प्रतिरोध,  $e^e$  = एक खान का विद्युत।

समान तरह के  $n$  खानों को समानरूप कम में जोड़ने पर

$$I \left( R + \frac{R_1}{n} \right) = ne^e. \quad (4.41)$$

## 2 विद्युत-विश्लेषकों में धारा

**विद्युत-विश्लेषक चालक** (या सिर्फ **विद्युत-विश्लेषक**) जब (या अन्य घटक) में अम्लों, प्रयोगों व अवशोषकों घोलों को कहते हैं। पिछले दृष्ट अवशोषकों में भी विद्युत चालक का गुण होता है। विद्युत-विश्लेषकों में आवेशों का

बहन आयन करते हैं। आयन धनाविष्ट या ऋणविष्ट अणु-खंड (परमाणुओं मूलों या स्वयं अणुओं) को कहते हैं।

विद्युविश्लेषक में विद्युत क्षेत्र उसमें डूबे हुए धारा-वाही पत्तरो के बीच उत्पन्न होता है, इन पत्तरो का विद्युद (एलक्ट्रोड) कहते हैं। विद्युद विवाचन के ध्रुवों से जुड़े होते हैं। धन ध्रुव से जुड़ा हुआ विद्युद ऊँचद (एनोड) कहलाता है और ऋण ध्रुव से जुड़ा हुआ — नीचद (कैथोड)। विद्युत क्षेत्र में नीचद की ओर स्थानांतरित होने वाले धनात्मक आयन नीचायन (कैटायन) कहलाते हैं, उच्चद की ओर स्थानांतरित होने वाले ऋणात्मक आयन ऊँचायन (ऐनायन) कहलाते हैं।

दोनों चिह्नों वाले आयनों से उत्पन्न धारा का घनत्व :

$$i = n_+ q_+ \langle v_+ \rangle + n_- q_- \langle v_- \rangle, \quad (4.42)$$

जहाँ  $n_+ \langle v_+ \rangle$  — नीचायनों की सांद्रता, और उनकी क्रमबद्ध गति का औसत वेग,  $q_+$  — एक नीचायन का आवेश;  $n_- \langle v_- \rangle$  — ऊँचायनों की सांद्रता, और उनकी क्रमबद्ध गति का औसत वेग,  $q_-$  — एक ऊँचायन का आवेश।

आयनों की चंचलता सांख्यिक रूप में क्रमबद्ध गति के औसत वेग के बराबर होती है, जिसे आयन इकाई तीव्रता वाले क्षेत्र में प्राप्त करता है,  $u_+ = \langle v_+ \rangle E$  व  $u_- = \langle v_- \rangle E$

आयनों की चंचलता  $u_+$  व  $u_-$  द्वारा धारा के घनत्व को व्यक्त करने पर

$$i = (n_+ u_+ q_+ + n_- u_- q_-) E, \quad (4.43)$$

जहाँ  $E$  विद्युत-क्षेत्र की तीव्रता ओम का नियम विद्युविश्लेषक के लिए भी सत्य है।

विद्युविश्लेषको (या पिघले हुए खवणों) से होकर धारा के गुजरने पर उनकी रसायनिक संरचना बदल जाती है और विभिन्न उत्पाद अलग हो कर विद्युदों पर जमा हो जाते हैं। इसी सृष्टि को विद्युविश्लेषण कहते हैं।

फैराडे का प्रथम नियम विद्युविश्लेषण में विद्युद पर पृथक्कृत पदार्थ का द्रव्यमान विद्युविश्लेषक से गुजरने वाले विद्युत की मात्रा  $Q$  का समानुपाती होता है।

$$m = kQ \quad (4.44)$$

समानुपातिकता का संगुणक  $k$  सांख्यिक रूप में इकाई मात्रा विद्युत के गुजरने

पर पृथक् होने वाले पदार्थ के द्रव्यमान के बराबर होता है। इस संगुणक को दिये हुए पदार्थ का विद्युरसायनिक तुल्यांक कहते हैं।

फैराडे का दूसरा नियम, दिये हुए पदार्थ का विद्युरसायनिक तुल्यांक उसके रसायनिक तुल्यांक  $\mu/n$  का समानुपाती होता।

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n}; \quad (4.45)$$

रसायनिक तुल्यांक द्रव्यमान की एक सैरप्रणालिक इकाई है, जो दिये हुए पदार्थ के मोलीय द्रव्यमान  $\mu$  और उसकी समुच्चयता  $n$  के अनुपात के बराबर होती है। स्थिरांक  $F$  को फैराडे संख्या (या फैराडे स्थिरांक) कहते हैं  $F = 96500 \text{ C/mole}$ । जब किसी भी द्रव्यमान  $\mu$  को संख्या  $n$  बराबर आवेश गुजरता है, तब संयुक्त  $\mu/n$  पदार्थ का  $\mu/n$  द्रव्यमान पृथक् होता है।

गैल्वेनोस सेल विद्युविश्लेषक में डूबे हुए विद्युदों और धारा-वाही पत्तरो के विभवान्तर स्थापित हो जाता है, जिसे दिये हुए घोल में दिये हुए विद्युत का विद्युरसायनिक विभव कहते हैं।

आयनों की मानक सांद्रता वाले घोलों में धातुओं के विद्युरसायनिक विभव के मानों को मानक विभव कहते हैं। ऐसी सांद्रता हान पर विश्व रसायनिक विभव सिर्फ धातुओं के प्रकार पर निर्भर करता है। मानक विभव हाइड्रोजन-विद्युद के सापेक्ष निर्धारित किया जाता है। हाइड्रोजन विश्व पोटेंशियल का हाइड्रोजन से समुत्पन्न पत्तर होता है, जो आयनों की  $2 \times 10^{-4} \text{ M}$  सांद्रता वाले गंधकाम्ल के जलीय घोल में आंशिक तौर पर डूबा रहता है।

विद्युविश्लेषक में दो विद्युदों को डुबाने पर उनके बीच विभवान्तर स्थापित होता है, जो विद्युदों के मानक विद्युरसायनिक विभवों के अंतर के बराबर होता है। ऐसा विद्युविश्लेषक, जिसमें दो भिन्न प्रकार के विद्युद डूबे होते हैं गैल्वेनिक सेल कहलाता है (जैसे बोट की बैटरी) जो गंधकाम्ल के जलीय घोल में तारों और जस्त के पत्तरो को डुबाने में बनाया है।

सहायक भी गैल्वेनिक सेल ही होते हैं, जिसके विद्युद ऐसे धातुओं में बनाये जाते हैं, जो अपने आरंभिक गुण पुनः प्राप्त कर लेते हैं, इसके लिए सेल में जमे काम नाते वस्तु उसमें बहने वाली धारा की विपरीत दिशा में विद्युत-धारा प्रवाहित करनी पड़ती है। सेल को काम नाते वस्तु उसमें बहने वाली धारा निरावणक धारा कहलाती है और उसकी विपरीत दिशा में

बहुत ज्ञान वाकी धारा आवेशक द्वारा कहलाती है। दी हुई परिस्थितियों (तापक्रम, निरावद्यता धारा, आरम्भिक वोल्टता) में सहायक से विद्युत की जितनी मात्रा प्राप्त हो सकती है, उसे सहायक की धारिता कहते हैं और उसे कण्ड में व्यक्त करते हैं।

### 3. गैसों में विद्युत-धारा

गैसों में विद्युत-धारा बनने का कारण उनमें उपस्थित आयन और मुक्त एलेक्ट्रॉन होते हैं। गैसों का आयनन (आयनीकरण) ऐसी प्रक्रिया है, जिसमें एलेक्ट्रॉन उदासीन (आवेशहीन) अणुओं से अलग हो जाते हैं और उनका एक भाग अन्य उदासीन अणुओं व परमाणुओं के साथ संयुक्त हो जाता है। अणु या परमाणु में एलेक्ट्रॉन के अलग होने में संपन्न कार्य आयनन-कार्य कहलाता है (इसे आयनन का विभव भी कहते हैं)।

आयनन कार्य का एलेक्ट्रॉन-वोल्ट (eV) में नापने की प्रथा है। 1 eV ऊर्जा की वह मात्रा है जिसे एलेक्ट्रॉन 1 V विभवान्तर वाले क्षेत्र से गुजरने में प्राप्त करता है।

धातुओं व द्रवों की तरह गैसों में भी धारा का घनत्व आवणवाही आयनों की सांद्रता, उनकी चालकता और उनके आवेशों की मात्रा द्वारा निर्धारित किया जाता है। परन्तु कि गैस में आयनों की सांद्रता क्षेत्र की तीव्रता पर निर्भर करती है और आयनों का वितरण गैस द्वारा छुके गये व्योम में असमान रहता है। इसलिए गैसीय विद्युच्चालक अधिकांशतः ओम के नियम का पालन नहीं करते।

गैस में दो प्रकार की चालकता होती है : अस्वपोषित और स्वपोषित। अस्वपोषित चालकता तब प्राप्त होती है जब गैस में आयन प्रयुक्त विद्युत-क्षेत्र के प्रभाव में नहीं, बल्कि अन्य कारणों (जैसे एकम-किरणों या ताप) के प्रभाव में बनते हैं। जब आयन विद्युत के बीच प्रयुक्त विद्युत-क्षेत्र के प्रभाव में ही बनते लगते हैं तब स्वपोषित चालकता का उदाहरण मिलता है।

निर्वात में (जैसे एलेक्ट्रॉनी बल्बों में) धारा का कारण एलेक्ट्रॉनों की गति है जो निर्वात में रख गये विद्युतक्षेत्र में उड़-उड़ कर निकलते रहते हैं। धातु में से मुक्त एलेक्ट्रॉन को अलग करने के लिए नियत कार्य करना पड़ता है। इस कार्य को निकासी कार्य कहते हैं।

तापीय गति के प्रभाव तथा धातु में से एलेक्ट्रॉन के निकास को तापीय एलेक्ट्रॉनी उत्सर्जन (या तापायनी उत्सर्जन) कहते हैं। धातु में से एलेक्ट्रॉन निकल जाय इसका निम्न आवश्यक है

$$m_e v_{th}^2 \geq A, \quad (4.46)$$

यहाँ  $m_e$  = एलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान,  $v_{th}$  = एलेक्ट्रॉन के तापीय वेग का सतह अभिलेख दिशा में प्रक्षेप,  $A$  = निकासी कार्य

तापायनी उत्सर्जन के महत्त्वमान का (स्थिर तापक्रम पर) सहायक-धारा कहते हैं। तापायनी उत्सर्जन में सहायक धारा का घनत्व चालक क्षेत्र द्वारा निर्धारित होता है :

$$j = B E^2 = I(A) \quad (4.47)$$

हाँ  $B$  -स्थिरांक  $T$  -परम तापक्रम,  $k$  -बोल्ट्समान का स्थिरांक,  $e$  -पृ 74,  $e \approx 2.72$  नैसर्गिक लघुगुणकों का आधार। स्थिरांक  $B$  का अक्सर उत्सर्जन-स्थिरांक के नाम से पुकारा जाता है। शब्द  $j$  मतलब है लिए राशि  $B$  का मान मिद्धात की दृष्टि से समान होता था।  $(0.2 \text{ A/cm}^2 \text{ K}^2)$ , पर प्रयोग में मिले मान प्राप्त होते हैं।

आक्साइड-बैथों का व्यापक उपयोग हो रहा है। ये धातु के धारा पर बरियम (या कुछ अन्य विशेष धातुओं में से किसी पर) आक्साइड का स्तर चढ़ा देने में प्राप्त होते हैं, इस प्रक्रिया में तापीय कार्य काफी कम हो जाता है।

गैस में स्थित ठोड़े विद्युत के बीच बड़ी तीव्रता (वोल्टता) कावा सहायक प्रयुक्त करने पर निरावश्यन चित्तकारी के रूप में संपन्न होता है (च 4.4)। तड़क के लिए आवश्यक वोल्टता (तड़क-वोल्टता) विद्युत के पक्ष में सहायक आकार (मापों) पर निर्भर करती है, उनकी आपसी दूरी और धारा की तीव्रता व उसके दाय पर भी।

यदि विद्युत सफेद व समानांतर है और उनके आकार उनकी आपसी दूरी के साथ तुलनीय हैं तो दी हुई गैस व विद्युत-पदार्थों के लिए तब तक दान की चालकता सिर्फ गुणनफल  $pd$  पर निर्भर करता है (जहाँ  $p$  गैस का दाब व  $d$  विद्युतों की आपसी दूरी)। यदि  $p$  व  $d$  समानांतर बदलते हैं तो चालकता गुणनफल स्थिर रहता है, तो तड़की वोल्टता भी स्थिर रहती है।

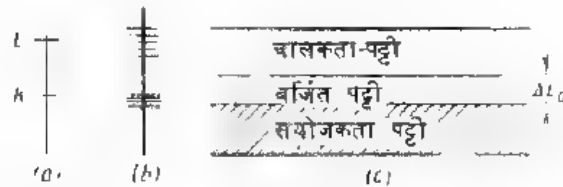
किसी विशेष चालकता पर तब तक दो वाली एलेक्ट्रोडों की आपसी दूरी का स्फुलिंगाकाश कहते हैं। स्फुलिंगाकाश के आधार पर विद्युदों के बीच चालकता का मान निर्धारित किया जा सकता है।

#### 4 अर्धचालक

अर्धचालक ऐसे पदार्थों का कहते हैं जिनमें विद्युच्चालकता एलेक्ट्रोनों की गति के कारण होती है और विशिष्ट प्रतिरोध कमरे के तापक्रम पर  $10^{-2} - 10^9 \Omega \text{ cm}$  के अंतराल में होता है। तापक्रम में परिवर्तन होने पर अर्धचालक का विशिष्ट प्रतिरोध बहुत तेजी से बदलता है। धातुओं की तरह अर्धचालकों का प्रतिरोध तापक्रम ऊँचा होने पर बढ़ता नहीं बल्कि घटता है। वह अर्धचालकों में उपस्थित अशुद्धियों पर भी बहुत निर्भर करता है।

परमाणु में स्थित एलेक्ट्रॉन विविक्त (अलग-अलग) ऊर्जास्तरों (दे पृ. 248) पर होते हैं, हर एलेक्ट्रॉन ऊर्जा का एक निश्चित मान लिए होता है ता हमारे एलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा से भिन्न होता है। पृथक्छन्न परमाणु में दो से अधिक एलेक्ट्रॉन समान ऊर्जा-स्तर पर नहीं रह सकते, पर वे भी रिपन की दिशा (दे पृ. 249) के अनुसार एक-दूसरे में भिन्न होंगे।

किसी पदार्थ के पृथक्छन्न परमाणुओं में परस्पर अनुरूप ऊर्जा-स्तर समान होने व्यक्तिविद्या (पारस्परिक क्रिया) के कारण हर परमाणु के ऊर्जा-स्तर थोड़ा सा बदल जाया करते हैं (यदि उनकी तुलना पृथक्छन्न परमाणुओं के ऊर्जा-स्तरों से की जाय)। जालिकारी परमाणुओं के ऊर्जा-स्तर परस्पर भिन्न होंगे।



चित्र 44 अर्धचालक में ऊर्जा-स्तर

सादृश्य के लिए चित्र 44a में पृथक्छन्न (जालिकार) में भाग नहीं लें। (a) परमाणु की ऊर्जा के  $K$  व  $L$  स्तर दिखाए गए हैं।  $n$  परमाणुओं

की व्यक्तिविद्या की अवस्था में पृथक्छन्न (a) में दो स्तरों में "विघटन" हो जाता है (चित्र 44b, c)। विद्युत स्तरों की ऊर्जा में करीब  $10^{-22}$  से  $10^{-23} \text{ eV}$  का अंतर होता है। ऊर्जा का निम्न स्तर मिल-जुल कर ऊर्जा-स्तर की एक अनुमत पट्टी बनाते हैं। ये विद्युत स्तरों में वर्जित मानों के अंतरालों द्वारा पृथक्छन्न हैं। इस अंतरालों का वर्जित पट्टियों का नाम दिया गया है। एलेक्ट्रॉन ऐसा कोई ऊर्जा-स्तर नहीं रख सकते जो वर्जित पट्टियों में आता है।

धातुओं के समान ही, अर्धचालकों की विद्युच्चालकता का कारण भी दो प्रकार के परमाणु एलेक्ट्रॉन होते हैं, क्योंकि आंतरिक अशुद्धियों के कारण चालकता पृथक्छन्न में जुड़ रहते हैं।  $0 \text{ K}$  पर सजातीय अर्धचालक में कोई ऊर्जा-स्तर नहीं है। इस पट्टी का कोई भी अनुमत स्तर खाली नहीं होता, जो चालकता पट्टी (या संयुज्यता-पट्टी) कहते हैं।  $10 \text{ K}$  पर अनुमत ऊर्जा-स्तरों का अंतर बहुत छोटा होता है, एक भी एलेक्ट्रॉन नहीं होता। इस चालकता-पट्टी कहते हैं। चालकता पट्टी में एक-दूसरे से वर्जित पट्टी द्वारा पृथक्छन्न होती है (चित्र 44c)। इस पट्टी में चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों के जाने के लिए आवश्यक ऊर्जा का माप  $\Delta E_0$  को वर्जित पट्टी की चौड़ाई कहते हैं। धातुओं में चालकता पट्टी में विद्युदों एक-दूसरे को अलग-ठके होती हैं; पारविद्युतों में  $\Delta E_0 = 10^3$ ।

विद्युच्चालकता का कारण चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों की गति है। यदि चालकता-पट्टी में एलेक्ट्रॉन नहीं हैं तो विद्युच्चालकता भी नहीं आती।

नापय गति (अन्य कामों के अतिरिक्त) एलेक्ट्रॉनों का भी होता है। यह सक्रमण उपलब्ध कराती है। चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों की गति चालकता पृथक्छन्न द्वारा निर्धारित होती है।

$$n = e^{-\Delta E_0 / 2kT} \quad (148)$$

जहाँ  $A$ —स्थिरांक,  $k$ —चालकता का स्थिरांक  $T$ —परमाणु का तापमान।

विशिष्ट विद्युच्चालकता

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{kT} \quad (149)$$

चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों के सक्रमण के बाद संयुज्यता पट्टी में रिक्त स्थान रह जाते हैं, बाह्य विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति में ये रिक्त स्थानों ही पट्टियों में स्थानान्तरित हो रहे हैं। चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों की स्थानान्तरण को चालकता एलेक्ट्रॉनी चालकता या  $n$ -रूपी चालकता कहलाती है।  $n$  वर्ण जबद  $\text{degat ve}$  से लिया गया है। संयुज्यता-पट्टी में एलेक्ट्रॉनों के



स्थानांतरण से उत्पन्न चालकता छिद्रिल चालकता या  $p$ -रूपी चालकता कहलाती है ( $p$  शब्द positive का प्रथम वर्ण है)। पूरित पट्टी में एलेक्ट्रॉन के स्थानांतरण को एलेक्ट्रॉन की गति की विपरीत दिशा में धनावेश का स्थानांतरण माना जा सकता है। ऐसे धनावेश को औपचारिकत छिद्र कहते हैं। समान सख्या में एलेक्ट्रॉनों व छिद्रों (जो एलेक्ट्रॉनों के समकक्षता-पट्टी में चाल्यता पट्टी में सक्रमण से बनते हैं) की गति से उत्पन्न चालकता का निजी (या आंतरिक) चालकता कहते हैं। निजी चालकता संयुज्यता-बन्धों में विघन के कारण उत्पन्न होती है।

परन्तु चालकता वाले अर्धचालक को  $n$  रूपी अर्धचालक कहते हैं और छिद्रिल चालकता वाले को  $p$ -रूपी अर्धचालक।

अर्धचालक के व्यावहारिक उपयोग में अशुद्धिजनित चालकता का अधिकतम महत्त्व दिया जाता है। यह अर्धचालकों में उपस्थित अशुद्धियों के कारण उत्पन्न होती है। अशुद्धियाँ दो प्रकार की होती हैं। दाता और ग्राही। दाता अशुद्धियाँ ऊर्जा के अतिरिक्त अनुमत स्तरों को भी वर्जित पट्टी की ऊपरी सीमा के पास जन्म देती हैं। ऐसी अशुद्धियाँ के परमाणु एलेक्ट्रॉनों को चाल्यता-पट्टी में पहुँचा देते हैं; अशुद्धिजनित एलेक्ट्रॉनी चालकता इसी के कारण उत्पन्न होती है। ग्राही अशुद्धियाँ अतिरिक्त स्तरों को वर्जित पट्टी की निचली सीमा के पास जन्म देती हैं; इनके परमाणु एलेक्ट्रॉनों को संयुज्यता-पट्टी में अपन स्तर पर ग्रहण कर लेते हैं, जिसके फलस्वरूप अशुद्धिजनित छिद्रिल चालकता उत्पन्न होती है।

जर्मनियम में उपस्थित आर्सेन प्रणाली के V-ग्रुप के तत्व (जैसे एंटीमोन) दाता अशुद्धियों के उदाहरण हैं और III-ग्रुप के तत्व (जैसे गैलियम) ग्राही अशुद्धियों के उदाहरण हैं। ऐसी अशुद्धिजनित चालकता भी संभव है जब अर्धचालक में दाता और ग्राही दोनों ही प्रकार की अशुद्धियाँ मिली रहती हैं। ध्यान देने योग्य बात है कि एलेक्ट्रॉन और छिद्र, दोनों ही, हर प्रकार के अर्धचालक में हमेशा ही उपस्थित रहते हैं, पर उनकी असमान सांद्रता या चालकता के कारण बिजु चालकता में उनका योगदान असमान रह सकता है।

### 5. ताप विद्युत

यदि दो असमान चालकों में बने संवृत परिपथ में चालकों के संधि-स्थानों का भिन्न तापक्रमों पर रखा जाये, तो वेम परिपथ में धारा बहने लगेगी।

धारा का पोषण संधि-स्थलों पर उत्पन्न विवाह द्वारा होता है। इन परिस्थितियों में उत्पन्न विवाह को तापीय विद्युत्वाहक बल (ता. विवाह) कहते हैं और इस सर्पुत का ताप-विद्युत (या तापीय विद्युत) कहते हैं।

तापक्रम के कुछ अंतरालों में ता. विवाह तापक्रमों में अंतर का समानुपाती होता है। इस स्थिति में ता. विवाह  $\mathcal{E}_1 - \alpha(T_1 - T_2)$  होता है। यदि  $\alpha$  को अंतराभ्यो ता. विवाह (या ता. विवाह का समुणक) कहते हैं, सार्वत्रिक रूप से यह तापक्रमों में  $1^\circ\text{C}$  के अंतर में उत्पन्न ता. विवाह  $\alpha$  बराबर होती है।

### सारणी और ग्राफ

#### पाथिव वातावरण में विद्युत धारा

पाथिव विद्युत क्षेत्र (दे सारणी 72) के प्रभाव से वातावरण में आपत धारा, अर्थात् चालकता धारा उत्पन्न हो जाती है, जिसकी दिशा जलवायु क्षेत्र की ओर होती है। इस धारा का घनत्व ऊँचाई के अनुसार  $n = 10^{-11}$  से  $10^{-10}$  एम्पियर/से.मी. के बीच होता है। औसत "सफ़" मौसम वाले क्षेत्र में  $2-3 \times 10^{-10}$  A/cm<sup>2</sup> के बराबर होता है। विपरीत दिशा वाली धाराएँ तड़ित सक्रिय क्षेत्रों में उत्पन्न होती हैं।

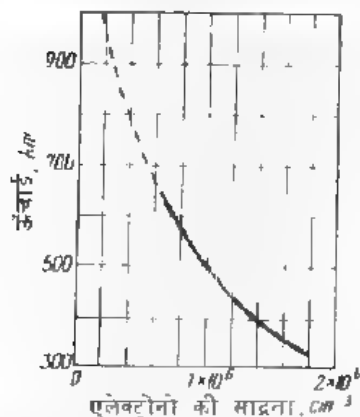
जलमंडल (hydrosphere) में धारा का घनत्व  $1 \mu\text{A/cm}^2$  होता है।

वर्षों की बंदों और आकाश से गिरने वाले ओले और वर्ष के फाल में परिपथ आवेशों की गति से उत्पन्न धारा का घनत्व : फाल वर्षों में  $10^{-11}-10^{-10}$  A/cm<sup>2</sup> ओले पड़ने व बिजली के साथ वर्षों में  $10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup> तक।

तड़ित (आकाशी) विद्युत में धारा का बल 0.5 MA तक होता है, पर अधिकांश स्थितियों में 20 से 40 KA तक होता है।

तड़ित विद्युत की तीव्रता (वान्टता)  $10^9$  V तक पहुँच जाती है। तड़ित का जीवन काल करीब 1ms है, उसकी लंबाई लगभग 10 km होती है और सर मार्ग की मूटाई 20 cm तक होती है।

## वातावरण में एलेक्ट्रॉनों की सांद्रता



चित्र 4.1. वातावरण में ऊर्जा के साथ साथ एलेक्ट्रॉनों का सांद्रता में परिवर्तन। कुलित ऊष्मता व चार्जों में भी गये साथ पर आधारित, रेखा द्वारा अनुमान मान दिखाता है।

सारणी 78. धातुओं का विशिष्ट प्रतिरोध और प्रतिरोध का तापक्रमी गुणांक (20 °C पर)

धातु	$\rho \cdot 10^{-8} \Omega \text{ cm}$	$\alpha \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
अनुमीनियम	1.3	4.9
कॉपा (फॉस्फोर-युक्त)	8.0	4.0
कॉपर	1.7	4.3
चांस	1.6	3.6
जस्ता	5.9	3.9
टिन	1.0	4.2
न्यूमोन	3.1	4.5
रेड लेड	13.7	3.7
निकल	10.9	5.0
तांबा	1.7	3.9
चांस	9.1	0.9
पोलन	2.5	2.7
मॉन्टेनियम	1.7	3.3
महा	6.4	6.2
मंगा	22.1	4.1

नियुक्ति — सारणी में सारणी के औसत मान दिए गए हैं। वास्तविक मान समय और स्थानांतरण तापमान आदि पर निर्भर करते हैं।

धातु धातु के प्रतिरोध का तापक्रमी गुणांक  $1/273 \text{ K}^{-1} = 0.0037 \text{ K}^{-1}$  के समान है।

सारणी 79. धातुओं और मिश्र धातुओं के अतिचालक की अवस्था में संक्रमण के लिए आवश्यक तापक्रम

द्रव्य	$T, \text{ K}$	द्रव्य	$T, \text{ K}$
अनुमीनियम	1	कॉपा	4.4
कैडमियम	0.5	न्यूमोनियम	9.2
जस्ता	0.8	चांस	4.1
निकोलेनियम	0.3	मंगा	7.3
टिन	3.7		

## मिश्र धातु

Bi-Pt	0.16	Sn-Hg	4.0
Pb-Au	2.0-7.3	Pb-Ag	1.0
Sn-Zn	3.7	Pb-Sb	6.0
Pb-Hg	4.1-7.3	Pb-Ca	0

## बौलिक

Nb <sub>3</sub> Bi	4.2	Nb <sub>3</sub> C	9.2
PbSe	5.0	NbC	0.14
NbBi <sub>2</sub>	5.5	NbN	1.0
NbB	6	V <sub>3</sub> Si	17
MoC	7.6-8.3	Nb <sub>3</sub> Sn	2

नियुक्ति :—1 अतिचालक मिश्र धातु अधिक अवस्था वाले भी अलग हैं। वस्तु का मिश्र धातु (8.5 K) न्यूमोन का धातु (8.5 K) बड का धातु 8 K Pb As Bi (4.0 K) Pb As Bi Sb (4.0 K)

2 अतिचालकता की अवस्था में संक्रमण करने पर बौलिक व मिश्र धातु का प्रतिरोध तापक्रम के पदानुक्रम में अवस्था में बदलता है (बौलिक का 2 K के अवस्था में)। संक्रमण का तापक्रम मिश्र धातुओं के तापमान पर भी निर्भर करता है। ऐसी परिस्थितियों के लिये सारणी में संक्रमण के तापक्रम में परिवर्तन की सीमा दी गयी है।

सारणी 80. उच्च सक्रिय प्रतिरोध वाले मिश्र धातु  
(20 °C पर)

मिश्र धातु (अवयवधानुषात % में)	$L, 4 \times 10^{-5} \text{ cm}$	$10^3 \frac{\alpha}{K}$	$R, \Omega$
कस्टॉन (58.8 Cu, 40 Ni, 1.2 Mn)	0.44-0.52	0.01	500
जमम मिल्वर (65 Cu, 20 Zn, 15 Ni)	0.28-0.35	0.04	100-200
निक्रोडम (54 Cu, 20 Zn, 26 Ni)	0.30-0.45	0.02	150-200
निक्रम (67.5 Ni, 15 Cr, 16 Fe, 5 Mn)	1.0-1.1	0.2	1000
कथमन (80 Fe, 14 Cr, 6 Al)	1.1-1.3	0.1	900
मैकनॉन (85 Cu, 12 Mn, 3 Ni)	0.42-0.46	0.15	60
रेगोटेल (84 Cu, 12 Mn, 4 Zn)	0.45-0.52	0.4	150-200

टिप्पणी.—प्रतिरोध के तापक्रमी गुणांक का औसत मान  $\alpha$  तापक्रम अन्तरान 0 से 100 °C तक के लिये मही है। सारणी के अभिव्यक्त्य में महत्तम अन्तरान तापक्रम दिया गया है।

कस्टॉन के प्रतिरोध का तापक्रम-गुणांक  $(0.00004$  से  $+0.00001)$  के अन्तरान में बदल सकता है, यह नमून पर निर्भर करता है। कृपा विले से तापक्रम है कि तापक्रम बढ़ने पर प्रतिरोध घटता है।

सारणी 81. धृक्कृत जालक में बोधकालीन कार्य  
के लिये अनुमत धारा-बल (ऐम्पियर में)

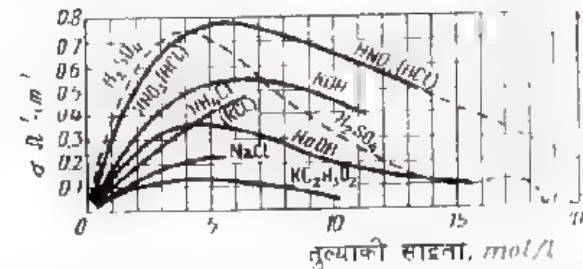
द्रव्य	अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल							
	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25
अन्योनियम	8	11	16	23	24	34	45	55
पीएच	15	4	20	25	5	43	75	100
पीए	—	—	8	10	15	15	30	—

सारणी 82. ध्यूज वायर

सम-वर्त $\lambda$		1	2	60	100
द्विगुणन ताप के साथ वर्तमान गुणक	0.213	0.303	0.316	1.42	2.03

टिप्पणी.—वर्तमान वायर पर विद्युत धारा घात (नोमिनल) 1 से 10 एम्पियर तक हो सकता है, जिस वल्लेव घात में लव मध्य कर सकता है। वायर का लंबाई 1 से 100 सेंटीमीटर धारा बल होने से ध्यूज वायर शीट पिघल जाता है।

जलीय घोलों की विद्युच्चालकता



(चित्र 40) चंद योनिता के जलीय घोलों की सांद्रता पर विश्वसनीयता है।

(1) (2) पर)। आयना का मानक सांद्रता दिखायी गया है। आयना

मानक सांद्रता की टाईट गमा पाते हैं, जिसके द्रव्यमान आयना में बाँट

के,  $n$  भाग आयना होते हैं।  $n$  आयना की सांद्रता है।

सारणी 83. भिन्न सांद्रता वाले विद्युतविश्लेषकों की प्रतिरोधिता  
(18 °C पर)

घट्य	$c, \%$	$\rho', \text{Mg/m}^3$	$\rho, \Omega\text{cm}$	$\alpha, \text{K}^{-1}$
अमोनियम क्लोराइड	5	1.011	10.9	0.0098
	10	1.029	5.6	0.0086
	20	1.057	3.8	0.0161
गंधकास्य	5	1.032	4.8	0.0121
	20	1.14	1.5	0.0045
	30	1.22	1.4	0.0162
	40	1.30	1.5	0.0178
जिंक सल्फेट	5	1.062	52.4	0.0225
	10	1.107	31.2	0.0222
	20	1.232	21.3	0.0241
नास सल्फेट	5	1.062	52.9	0.0216
	10	1.07	31.5	0.0218
	17.5	1.206	23.8	0.0236
नमकास्य	5	1.023	2.5	0.0158
	20	1.1	1.3	0.0154
	40	1.2	1.9	—
नाइट्रिक अम्ल	10	1.05	2.1	0.0145
	20	1.12	1.5	0.0137
	30	1.18	1.3	0.0139
	40	1.25	1.4	0.0150
सोडियम क्लोराइड	5	1.034	14.9	0.0217
	10	1.071	8.3	0.0214
	20	1.148	5.1	0.0716
सोडियम हाइड्रोक्साइड	5	1.05	5.1	0.0201
	10	1.11	3.2	0.0217
	20	1.22	3.0	0.0299
	40	1.43	8.3	0.0648

टिप्पणी : — विद्युतविश्लेषकों की प्रतिरोधिता तापक्रम बढ़ने पर घटती है (इसके धातुओं से भिन्न है)। अन्य तापक्रमों के लिये प्रतिरोधिता  $\rho_t$  निम्न सूत्र से प्राप्त हो सकती है : समीकरण (4.28)  $\rho_t = \rho_{18} [1 - \alpha(t - 18)]$ , जहाँ  $\alpha$  सारणी प्रदत्त तापक्रम गुणांक है,  $\rho_{18}$  18 °C पर प्रतिरोधिता है और  $t$  वह तापक्रम है, जिसके लिये  $\rho_t$  ज्ञात की जा रही है,  $C$  सांद्रता है,  $\rho'$  विद्युतविश्लेषक का घनत्व है।

सारणी 84. चंद धातु-युग्मों के तापीय विवाह (mV में)

सहि-स्थल का तापक्रम, °C	प्लैटिनम-10% रोडियम युग्म प्लैटिनम	लोहा-कॉस्टेंटेन	तांबा-कॉस्टेंटेन
200		8	5.5
100	0.64	5	4
200	1.44	11	9
300	2.32	16	13
400	3.25	22	17
500	4.22	27	21
600	5.22	33	25
700	6.25	39	29
800	7.33	46	33
1000	9.57	58	41
1500	15.50		

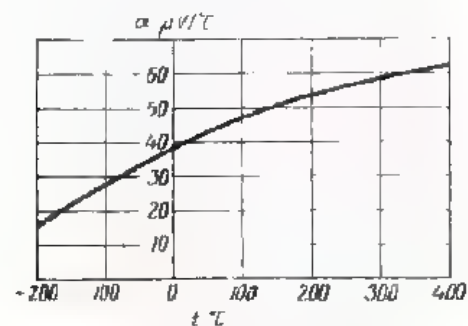
टिप्पणी : — दूसरे जोड़ (सहि-स्थल) का तापक्रम 0 °C पर रखा गया है।

सारणी 85. प्लैटिनम के सापेक्ष अन्तराश्रयी तापीय विवाह  
 $\alpha$  (0 °C पर)

धातु या धातु-मिश्र	$\alpha, \mu\text{V/K}$	धातु या धातु-मिश्र	$\alpha, \mu\text{V/K}$
सोडियम	17.4	तांबा	7.4
कॉस्टेंटेन	-34.4	विश्वस्य	-65.0
जिंक, प्रटीमोनाइड	200	लेड सेलुनाइड	-300
तांबा (I) आक्साइड	1000	लोहा	16.0
जल	-16.4		

टिप्पणी : — कुछ विद्वद् दिखाने हैं कि धारा सहि-स्थल पर  $\alpha$  के कम तापगतिकीय मान वाले धातु से बनती है, जैसे तांबा कॉस्टेंटेन युग्म में कम सहि-स्थल तांबा कॉस्टेंटेन से तांबा का भार बढ़ता है।

## ताप-कस्टेंटन युग्म का अंतराधयी तापीय विवाच

चित्र 47. ताप-कस्टेंटन युग्म  $\alpha$  अंतराधयी तापीय विवाच की तापक्रम निर्भरता  $t$ 

## सारणी 86. विद्युत् रासायनिक तुल्यांक

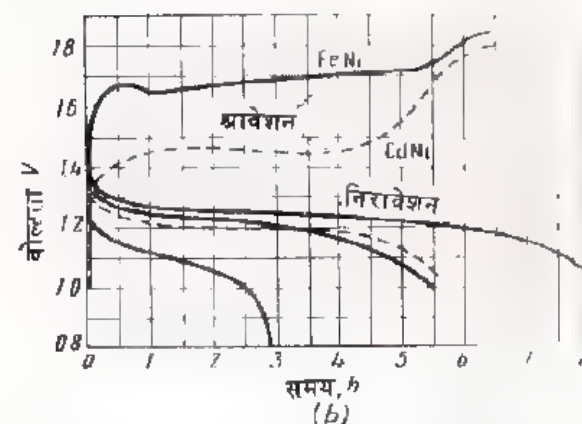
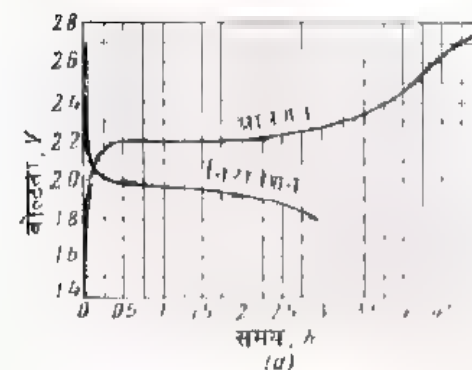
आयन	$\mu$ मोल	$\alpha$ मोल	आयन	$\mu$ मोल	$\alpha$ मोल
H	1.008	0.0104	$\text{CO}_3^{2-}$	60	1.510
$\text{O}_2^{2-}$	32.0	0.0809	$\text{Cu}^{2+}$	63.5	0.297
$\text{Al}^{3+}$	9.0	0.0936	$\text{Zn}^{2+}$	65.4	0.327
$\text{OH}^-$	17.0	0.1762	Cl	35.5	1.302
$\text{Fe}^{3+}$	55.8	0.1930	$\text{SO}_4^{2-}$	96.0	0.407
$\text{Ca}^{2+}$	40.1	0.2077	$\text{NO}_3^-$	62.0	0.642
Na	23.0	0.2388	$\text{Cu}^+$	63.5	0.670
$\text{Fe}^{2+}$	55.8	0.2895	$\text{Ag}^+$	107.9	1.113

टिप्पणी: प्रतीक पर स्थित ऋण वा धन चिह्न की सहायता से आयन द्वारा वहन किए जाने वाले प्राथमिक आवेशों की सहायता मिलती है,  $\mu$  मोलीय द्रव्यमान  $m$ -संयोजकता।

## सारणी 87 धातुओं के मानक विभव

धातु	V	धातु	V
बैरामयम	0.40	निकल	-0.25
कार्बोपम	0.36	पारा	-0.36
चांदी	0.80	सैनेगोल	-1.65
रजत	0.76	लोहा	-0.44
तांबा	-0.35	सीसा	-0.13

## संचायकों का आवेशन व निरावेशन



चित्र 48. (a) मानक धारा (0.4, A) द्वारा अम्लीय संचायक का आवेशन व निरावेशन के कार्य-कालीन धारा (0.3, A) द्वारा उसका निरावेशन करने पर 0.6 एक सेल के विरोध पर वोल्टता में होने वाले परिवर्तन (0.5 सेल तक की गारंटी)। (b) अम्ल निकल (संतृप्त वोल्ट) और कैडमियम-निकल (संतृप्त वोल्ट) सेल संचायकों के आवेशन व निरावेशन में एक सेल के विरोध पर वोल्टता में होने वाले परिवर्तन सामान्य कार्य-काल पर हो रहा है, 0.6, A (6 घंटे, निरावेशन 5 घंटे वाले कार्य-काल पर (0.3, A)। लाहो निकल व लोहा संचायक को लोहा दिया गया एक आठ घंटे (0.3 A, व तीन घंटे (0.3 A) के कार्य-काल में निरावेशन में नियत है।



सारणी 88 गैल्वेनिक सेलों के विवरण

सेल का नाम	अणु द्रव्य	घन द्रव्य	घोल	विभव, V
ग्रान्(ड) सेल	जस्ता	कार्बन	12 भाग $K_2Cr_2O_7$ , 25 भाग $H_2SO_4$ , 100 भाग $H_2O$	2.01
आरोग्य चादो- जस्ता सहायक	जिक आक्साइड	चादो	पार्लियम हाइड्रॉक्साइड (KOH) का घोल	1.5
रेडियम सेल	जस्ता	तांबा	विद्युत अल्प अल्प घोल में है जस्ता सफाई के घोल में $(5-10\%)$ और तांबा कोपर सल्फेट ( $CuSO_4$ ) के घोल घोल में	1
लेक्लीच सेल	जस्ता	कार्बन	अमोनियम पराक्साइड का घोल, सुकनी कोयले के साथ मैग्नीशियम पराक्साइड	1.46
लेक्लीच सेल, सूखा	जस्ता	कार्बन	1 भाग $ZnO$ भाग $NH_4Cl$ 3 भाग $ZnCl_2$ और इतना पानी कि लेड सी बन जाये	1.3
आरोग्य चादो निकल या कैडमियम- निकल) सहायक	सोडे की सुकनी या लौह आक्साइड युक्त कैडमियम	निकल डाय- क्साइड	KOH का 20% सांद्रता वाला घोल	1.41-1.1
अर्मा-अण्ड सहायक	जस्ता सीसा	$PbO_2$	$H_2SO_4$ का 27-28% घोल, कमरे के ताप पर घोल 1.20	2.0-1.9 ( $5^\circ C$ पर)
संयोजन मानक सेल	कैडमियम का अमलगम	तांबा	$CdSO_4$ का घोल घोल $Hg_2SO_4$ 4 $CdSO_4$ का घोल	1.4183

सारणी 89, जलीय घोलों में आयनों की चालनता

(18  $^\circ C$ )

आयन	$\mu$ ( $cm^2/sV$ )	आयन	$\mu$ ( $cm^2/sV$ )
$H^+$	350	$OH^-$	350
$K^+$	73	$Cl^-$	73
$Na^+$	50	$SO_4^{2-}$	160
$Ag^+$	63	$CO_3^{2-}$	140
$Zn^{2+}$	53		
$Fe^{3+}$	46		

टिप्पणी : 1. तापक्रम में  $1^\circ C$  की वृद्धि होने पर आयनों की चालनता  
क्रमशः  $2\%$  की वृद्धि होती है।

2. प्रयोग परत से कण चिह्नों की संख्या एक जगह पर  $10^{-10}$  से  $10^{-11}$  तक  
प्राथमिक आवेशों की संख्या है।

सारणी 90 धातुओं में एलेक्ट्रॉनों की चालनता  
 $cm^2/(sV)$  में

धातु	Ag	Ni	Be	Cu	Au	Li	Al	Cl	Zn
चालनता	50	43	14	53	30	10	0	7	12

टिप्पणी : — धातु के भीतर लेव की गतिता व्यवहारिकतः  $10^{18} m^2/s$  अधिक  
नहीं होती, और इयोनिक संतुलनता के बंध के सांख्यिक मान कारणों से। चालनता के  
सांख्यिक मानों में काफी कम होना, यह निष्कर्ष सारणी 88 में प्रस्तुत संयोजन धातु के  
धारा का समीकरण (4.24) में प्रयोग करके सरलनायक के प्रत्यक्षता का गकता है।

सारणी 92 गैसों में आयनों की चंचलता  
(सामान्य दाब व 20°C तापक्रम पर  $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$  में)

गैस	प्रवाह	कणायन	गैस	प्रवाह	कणायन
आक्सीजन	1.5	1.8	हवा (निलंबन)	1.4	1
आर्गन	1.5	1.7	मैग्नेश		
नाइट्रोजन	1.8	0.8	जल के द्रव	1.4	1
नाइट्रोजन	2.7		हाइड्रोजन	6.5	1
वायु (दाब 133 Pa)	220		हीलियम	16.6	

**टिप्पणी** व्यापक स्थिति में चलने वाला गैस में विद्युत-ध्रुव की ताकत  $E$  और गैस के दाब  $p$  के अंतर पर निर्भर करता है, यदि  $E/p$  का मान अधिक न हो तो चंचलता स्थिर रहती है जब आयनांक कम हो तो  $E/p$  का मान अधिक होता है व गैस में गति के वजह से गैस में चंचलता अधिक होती है।

मानक ताप (20°C) पर गैस के दाब  $p$  को वायुमानांक  $p_0$  से दाब के अनुपात  $p/p_0 = 1.013 \times 10^5$  में आयन के आवेश के माध्यम चंचलता बदल काम निम्न करना है।

चंचलता  $\mu$  की  $\mu_0$  पर  $\mu/\mu_0$  निर्भर करता है इसीलिए साधारण में दा गया चंचलता का काम चलाक मर मानना चाहिए।

सारणी 93 आयनन में संयोजन कार्य  
(आयनन का विभव)

आयनन	$E$ (eV)	आयनन	$E_{\text{ion}}$ (eV)
$\text{He} \rightarrow \text{He}^+$	24.5	$\text{H} \rightarrow \text{H}^+$	13.6
$\text{Ne} \rightarrow \text{Ne}^+$	21.5	$\text{O} \rightarrow \text{O}^+$	13.6
$\text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^+$	15.5	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+$	13.6
$\text{Ar} \rightarrow \text{Ar}^+$	15.8	$\text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^+$	15.8
$\text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2^+$	15.4	$\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^+$	19.5
$\text{N} \rightarrow \text{N}^+$	14.5	$\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^+$	10.4
$\text{CO} \rightarrow \text{CO}^+$	14.4	$\text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^+$	15.8
$\text{Kr} \rightarrow \text{Kr}^+$	13.9	$\text{K} \rightarrow \text{K}^+$	4.3

सारणी 93 धातुओं व अधातुओं के उत्सर्जन-स्तरांक

धातु	$\lambda$ (Å)	$\mu$ (cm <sup>2</sup> /K <sup>2</sup> )
अल्यूमीनियम	3.74	—
एंड्रोनो	3.73	—
कॉपर	4.51	—
कैल्शियम	4.56	—
सोडियम	4.50	—
टंगस्टन	4.50	—
टिन	4.3	—
जिंक	4.12	—
तांबा	4.47	—
थोरियम	3.41	—
निकल	4.84	—
वैडम	5.29	—
वैडम	2.29	—
मॉलिब्डेनम	4.37	—
वैडम	3.74	—
कोबाल्ट	4.56	—
मॉलिब्डेनम	1.86	—
निकल	4.0	—
वैडम	4.72	—

**टिप्पणी** — निकाली कार्य गति की गतिता और अणुओं पर चलाए गए गैस में चलाए गए गैस में दाया मान गति गतिता में है।

सारणी 94. धातु पर अिलियों के उत्सर्जन-स्थिरांक

धातु	सिल्लो	$A$ , eV	$B$ , $\text{\AA}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2)$
टंगस्टन	विकॉनियम	3.14	5.0
"	थोरियम	2.58	1.5
"	वैरियम	1.56	1.5
"	यूरेनियम	2.81	3.2
"	सोडियम	1.36	3.2
टैटेलम	थोरियम	2.52	0.5
मोनिटरेनाम	"	2.58	1.5

सारणी 95. ऑक्साइड-अस्तर वाले कैथोडों के उत्सर्जन-स्थिरांक

धारा	$A$ , eV	$B$ , $\text{\AA}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2)$
वैरियम-अलमीन टंगस्टन	1.34	0.18
वैरियम अलमीन टंगस्टन पर	1.10	0.3
BaO, लिवेल धातु-विश्व पर	1.50-1.83	0.087-2.18
थोरियम ऑक्साइड के अस्तर वाला कैथोड (औसतमान)	2.59	4.35
निकेल BaO-SrO	1.20	0.96
Pt-Ni BaO-SrO	1.37	2.45

सारणी 96. अर्ध-चालकों के गुण

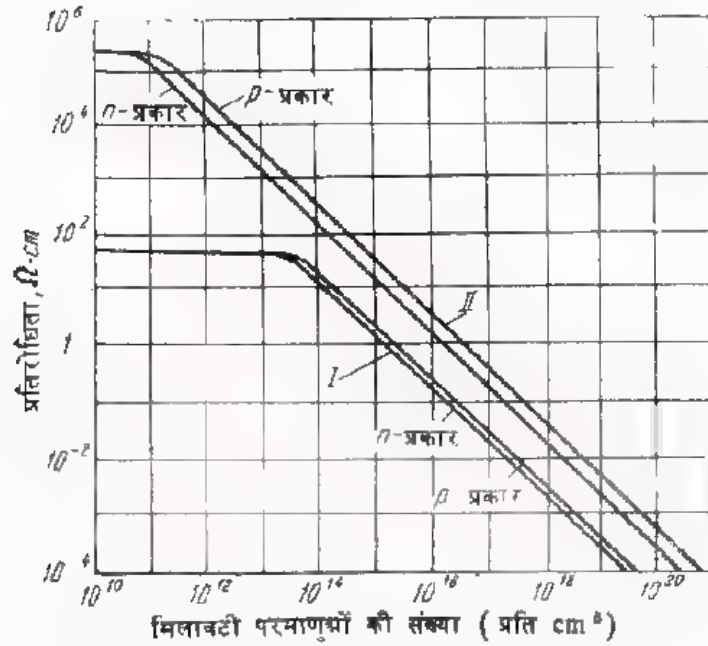
( $t_p$ —घननांक,  $\Delta F_0$ —वर्जित पट्टी की चौड़ाई  $\mu_n$ ,  $\mu_p$ —क्रमशः एलेक्ट्रॉनों व छिद्रों की चंचलता)

	$t_p$ , °C	$\Delta F_0$ , eV	$\mu_n$ , $\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$	$\mu_p$ , $\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$
आयोडीन (I)	114	1.3	2	
आर्सेनिक (ग्रुप) (As)	317	1.2	60	65
एन्टिमनी (Sb)	630	0.14		
जर्मेनियम (Ge)	958	0.75	3900	1900
स्टेन (Sn) (Sn)	232	0.08	2300	2400
सिलिकन (Fe)	43	0.37	1300	100
फॉस्फोरस (वाला) (P)	44	0.33	290	10
बोरॉन (B)	2300	1.10	1	0
सेलेनियम (ग्रुप) (Se)	217	2.8		90
ग्रेफाइट (C)	4030	5.4	1800	1300
सिलिकन (Si)	1414	1.14	1300	300
PbSe	1065	0.5	1100	1000
PbS	1114	0.5	600	200
AgBr	430	2.0	240	100
CdS	1750	2.5	10	200
Cu <sub>2</sub> O	1232	1.5	0.1	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2300	0.5		
ZnO	1975	3.4	200	

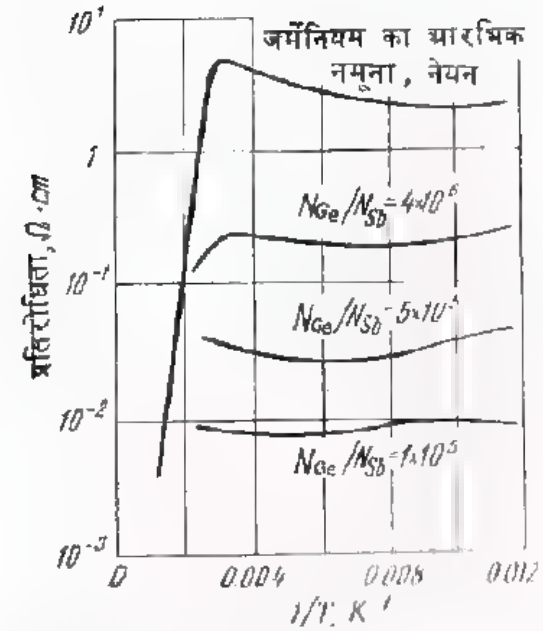
टिप्पणी. — चंचलता के प्रत्येक मान करने के तापमान पर नमूना ताप की प्रभावों के लिये है।

विद्युत-क्षेत्र की तीव्रता पर चंचलता की निर्भरता के कारण अन्तर्भावों में आयन नियम का उल्लंघन प्रोक्षित हो सकता है। क्षेत्र की अत्यन्त कम तापमान पर आयन नियम का उल्लंघन दिखता शुरू हो जाता है। चरम क्षेत्र  $10^5$  तक बढ़ाती है।  $t = 20^\circ\text{C}$  पर  $n$ -जर्मेनियम में चरम क्षेत्र— $1.0 \text{ kV/cm}$   $p$ -जर्मेनियम में— $1.4 \text{ kV/cm}$ ,  $n$ -सिलिकन में— $2.5 \text{ kV/cm}$  और  $p$ -सिलिकन में— $7.5 \text{ kV/cm}$  होती है। तापक्रम घटाने से चरम क्षेत्र की घटता है।

## जर्मेनियम व सिलिकन का विशिष्ट प्रतिरोध

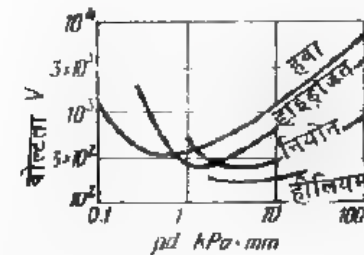


चित्र 49. अशुद्ध परमाणुओं की सांद्रता पर जर्मेनियम (I) व सिलिकन (II) के विशिष्ट प्रतिरोध की निर्भरता तापक्रम  $\approx 20^\circ\text{C}$ ।



चित्र 50. तापक्रम पर जर्मेनियम के विशिष्ट प्रतिरोध के परिवर्तन। ऊर्ध्व अक्ष पर योनिता के मान लघुगुणकी पैमाने पर स्थित हैं और क्षैतिज अक्ष पर परम तापक्रम है। यन्त्रण राशि  $N_{\text{Ge}}$  जर्मेनियम परमाणुओं की संख्या,  $N_{\text{Sb}}$  दायाँ अक्ष पर  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  की संख्या।

## चपटे विद्युतों के बीच तड़क-वोल्टता



चित्र 51. चपटे धातुई विद्युतों के लिये राशि  $pd$  पर तड़क-वोल्टता की निर्भरता ( $p$  = गैस का दाब,  $d$  = विद्युतों की आपसी दूरी)।

सारणी 97. हवा में स्फुलिंगाकाश  
(सामान्य दाब पर, mm में)

क्षेत्र की सीढ़िया वाल्डमर kV	धातुई इलेक्ट्रोडों के रूप		
	दी बिंदु	1 cm व्यास मात्र दी वनत	दी वनत
20	15.5	5.8	6.1
40	45.5	13	13.7
100	200	45	36.7
200	410	262	75.3
300	600	330	114

## C. चुंबकीय क्षेत्र, विद्युचुंबकीय प्रेरण

### मूल अवधारणाएं और नियम

#### 1. चुंबकीय प्रेरण, धाराओं की व्यतिक्रिया, चुंबकीय आघूर्ण

धारायुक्त चालकों, चुंबकीय व धारायुक्त चालकों, चुंबकों के बीच व्यतिक्रिया (परस्पर या आपसी क्रिया) होती है यह व्यतिक्रिया एक (भौतिक) क्षेत्र के माध्यम से होती है, जिसे **चुंबकीय क्षेत्र** कहते हैं। चुंबकीय क्षेत्र उन मापतत्त्वों में प्रेक्षित होता है, जिनके मापेक्ष आवेशों की गति क्रमबद्ध (सुव्यवस्थित) होती है। जिन मापतत्त्वों के मापेक्ष आवेश गतिहीन होते हैं उनमें चुंबकीय क्षेत्र का कोई अस्तित्व नहीं होता।

चुंबकीय क्षेत्र की उपस्थिति का ज्ञान चुंबकीय मुई व धारायुक्त चालकों (या गतिमान आवेशों) पर उनके प्रभाव के कारण होता है। इस प्रभाव का अभिव्यक्ति करने वाले बल **चुंबकीय बल** कहलाते हैं। गतिहीन स्थिर आवेशों पर चुंबकीय बल का कोई प्रभाव नहीं होता।

चुंबकीय क्षेत्र को लालन (कैल्क्युलेट) करने के लिए सदिष्ट राशि **B** प्रयुक्त होती है जिस **चुंबकीय प्रेरण** कहते हैं। सदिष्ट चुंबकीय प्रेरण की दिशा क्षेत्र के दिष्ट हुए बिंदु पर स्थित चुंबकीय मुई के उत्तरी छोर पर

यथाशील बल की दिशा के साथ स्थापित करता है। चुंबकीय क्षेत्र में रखे हुए धारायुक्त चालक पर क्रियाशील बल एंपियर के नियम द्वारा निर्धारित होता है। (चित्र 52)

$$\Delta F = kI |\Delta B|, \quad \Delta F = kI \Delta B \sin \theta \quad (4.50)$$

जहाँ  $I$  धारा-घन  $\Delta l$  चालक की लंबाई (मी)।  $\theta$  (मापेक्ष) लंबाई (चालक की लंबाई का सूत)  $B$  चुंबकीय प्रेरण  $\Delta B$  व  $\Delta l$  के बीच



चित्र 52. धारायुक्त चालक बल पर (अनुमानित प्रमाण पर)।

का बाण चालक की मूल लंबाई  $\Delta l$  एक सदिष्ट है जिसकी दिशा धारा की दिशा के साथ स्थापित करती है। गुणनफल  $\Delta l$  का धारा-घन  $I \Delta l$  समानुपातिकता का समुदाय  $k$  इकाइयों के नियत पर निर्धारित होता है। सभी राशियाँ एक ही प्रणाली में व्यक्त हैं ताकि  $k = 1$ ।

समाक के अनुसार चुंबकीय प्रेरण उस बल के बराबर होता है जिससे चुंबकीय क्षेत्र सदिष्ट प्रेरण के अभिलंब स्थित इकाई धारा-घन  $(I = 1 \text{ A})$  पर क्रिया करता है। चुंबकीय प्रेरण माध्यम के गुणों पर निर्भर करता है।

अप्र. म प्रेरण की इकाई टेस्ला (T) है।  $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb m}^{-2}$ । चुंबकीय प्रेरण है जो सदिष्ट प्रेरण के अभिलंब स्थित इकाई धारा-घन पर  $1 \text{ N}$  बल लगाना है।

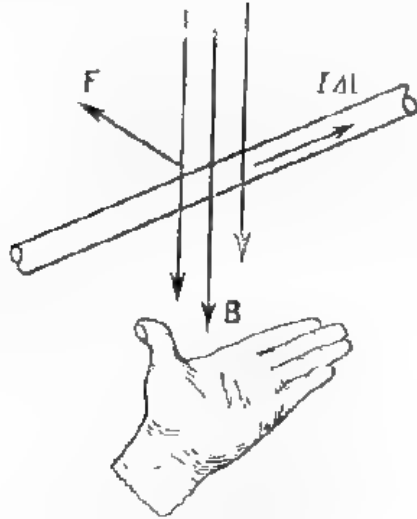
चुंबकीय प्रेरण **B** के साथ-साथ एक और राशि प्रयुक्त है चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता **H**। निर्वात में चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता पर  $B$  का ही कहते हैं, जो चुंबकीय प्रेरण **B** और चुंबकीय प्रेरण  $\mu_0$  के गुणनफल  $H = B / \mu_0$  के बराबर होती है। अप्र. म  $\mu_0 = (4\pi \times 10^{-7}) \text{ T m A}^{-1}$ । इसी अन्य माध्यम में चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता  $H = B / (\mu_r \mu_0)$  के बराबर होती है जहाँ  $\mu_r$  माध्यम की सापेक्ष चुंबकीय तीव्रता है। गुणनफल  $\mu_r \mu_0 = \mu$ , जो माध्यम की परम चुंबकीय तीव्रता कहते हैं।



चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता की इकाई ऐंपियर प्रति मीटर (A/m) है। 1 A/m चुंबकीय क्षेत्र की ऐसी तीव्रता है, जो  $4\pi A$  धारा वाले अनंत लंबे ऋजु चालक द्वारा उसमें 2 m की दूरी पर उत्पन्न होती है।

चुंबकीय वैधिता  $\mu$  वाले माध्यम में धाराओं की व्यतिक्रिया  $\mu$  गुनी अधिक होगी, वनिस्वत कि निर्वात में उनकी व्यतिक्रिया के [दे (4.51)]। स्पर्शक (सब दिशाओं में समान गुण रखने वाले) माध्यम में सदिश  $B$  और  $H$  समान दिशाएं रखते हैं।

$\mu_0$  की विमीयता और उसका सांख्यिक मान इकाइयों की प्रणाली के चयन पर निर्भर करते हैं (पृ. 287)। मापेक्षिक चुंबकीय वैधिता  $\mu$  इकाइयों की प्रणाली के चयन पर निर्भर नहीं करती; इसके मान अक्सर निर्देशिका-तालिकाओं में दिये जाते हैं।



चित्र 5.3. बायें हाथ का नियम।

धारायुक्त चालक पर क्रियाशील बल की दिशा **बायें हाथ के नियम** द्वारा निर्धारित होती है। यदि चुंबकीय क्षेत्र की बल-रेखाएँ बायें हाथेली पर लंबवत आते हुए गड़ी हों और मितटी उंगलियाँ धारा की दिशा दिखा रही हों, तो इंगलियाँ हुआ अगूठा चालक पर क्रियाशील बल की दिशा दिखाता है (चित्र 5.3)।

दो पर्याप्त लंबे ऋजु, समानांतर व धारायुक्त चालक आपस में इस प्रकार व्यतिक्रिया करने हैं कि, यदि उनमें धारा की दिशाएं समान होती हैं तो वे परस्पर आकर्षित होते हैं, धारा की दिशाएं विपरीत हों पर वे विरुद्धित होते हैं। इस नियम की गणितीय सीमा यन्त्रा निम्न है

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \quad (4.51)$$

जहाँ  $a$  = चालकों की आपसी दूरी  $l$  (चित्र 5.4) की तुलना में  $l, l_2$  चालकों में धारा-बल,  $\mu_0$  — उस माध्यम की चुंबकीय वैधिता जिसमें चालक स्थित हैं (4.51) के आधार पर धारा-बल की इकाई गुणक प्रणाली की जाती है। ऐंपियर एक अपरिवर्तनीय धारा का बल है, जिससे 1 m दूर स्थित लगभग अनुप्रस्थ काट वाले दो अनंत लंब, ऋजु समानांतर चालकों में बह कर उनके 1 m लंबे भाग पर  $2 \times 10^{-7}$  N के बराबर आकर्षित बल उत्पन्न करती है।

चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश (आवृष्ट कण) पर एक बल प्रयोग होता जाता है, जिसे **लॉरेंस-बल** कहते हैं।

$$F_L = Q|\mathbf{v} \times \mathbf{B}| \text{ मापाक } F_L = QvB \sin \alpha \quad (4.52)$$

जहाँ  $Q$  = कण का आवेश,  $\mathbf{v}$  = वेग,  $\alpha$  = वेग व प्रण  $B$  के बीच का कोण। लॉरेंस-बल की दिशा उस तल पर लंब होती है, जिसमें  $\mathbf{v}$  व  $B$  स्थित होते हैं।

चुंबकीय क्षेत्र में रगड़ी गयी समतली धारा-आकृति (पृ. 5) पर बल  $M$  क्रिया करता है

$$\mathbf{M} = IS[\mathbf{n} \times \mathbf{B}], \quad |\mathbf{M}| = ISB \sin \alpha \quad (4.53)$$

जहाँ  $I$  = धारा-बल,  $S$  = आकृति का क्षेत्रफल,  $B$  = चुंबकीय प्रण,  $\alpha$  = आकृति के तल के लंब और सदिश  $B$  के बीच का कोण,  $\mathbf{n}$  = आकृति पर लंबवत इकाई सदिश।

राशि  $p_m = IS$  को आकृति का चुंबकीय आघूर्ण कहते हैं। चुंबकीय आघूर्ण एक सदिश राशि है। इसकी दिशा दक्षिण-पंच व नियम से निर्धारित होती है : यदि पंच की आकृति में बहती धारा की दिशा में घुमाया जाये, तो पंच की अग्रवर्ती गति की दिशा  $p_m$  की दिशा के साथ संपात करेगी।



### 3. निर्वात में चुंबकीय क्षेत्र

चुंबकीय क्षेत्र की बल-रेखाएँ ऐसी रेखाओं को कहते हैं जिनकी स्पर्श रेखाएँ दिये हुए बिंदु पर क्षेत्र की तीव्रता की दिशा के साथ संपात करती हैं। क्षेत्र की चुंबकीय बल रेखाएँ सदैव द्वितीय (विद्युत्स्थितिक क्षेत्र की बल रेखाएँ इनमें इसी क्रान्त में भिन्न होती हैं)। ऋजुरैखिक धारा की बल रेखाएँ चालक के अभिलम्ब तल पर स्थित सहकेन्द्रीय वृत्त होती हैं। (चित्र 55)। चुंबकीय क्षेत्र की बल-रेखा की दिशा दक्षिण हँस के नियम से निर्धारित होती है : यदि पेंच को इस प्रकार घमाया जाये कि, वह धारा की दिशा में आगे बढ़े या उस घुमाने की दिशा बल रेखाओं की दिशा बताती है (चित्र 55)।

धारा-मूल  $\Delta I$  द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता

$$\Delta H = \frac{1}{4\pi r^2} |\Delta I r_0|$$

$$|\Delta H| = \frac{I \Delta l \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (4.59)$$

जहाँ  $r$  धारा मूल से उस बिंदु तक खींचा गया त्रिज्य सदिश, जिस पर तीव्रता ज्ञात करनी है,  $\alpha = \Delta l$  व  $r$  के बीच का कोण  $r_0$ —इकाई सदिश। इस संबंध का बियो सावार्ट-लेप्लेस का नियम कहते हैं।

धारायुक्त लंबे ऋजु चालक के विद्युत-क्षेत्र की तीव्रता

$$H = \frac{I}{2\pi a} \quad (4.60)$$

जहाँ  $a$  चालक से क्षेत्र के उस बिंदु तक की न्यूनतम दूरी, जिस पर तीव्रता ज्ञात करनी है।



चित्र 55 बिना गणना के बस नियम का स्पष्टीकरण। दक्षिण पक्ष का नियम

वृत्ताकार धारा के केंद्र में चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता

$$H_{\text{वृत्त}} = I_r (2R) \quad (4.61)$$

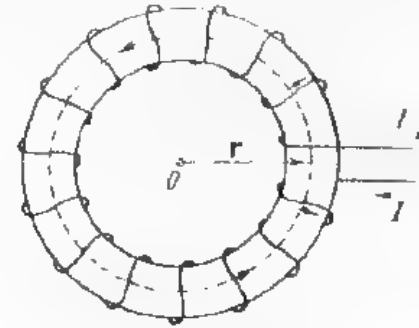
जहाँ  $R$ —वृत्त की त्रिज्या।

छल्लज (छल्ले पर तार लपेटने में बनी  $N$  लपेटों, चित्र 56) के भीतर क्षेत्र की तीव्रता :

$$H_{\text{छल्लज}} = NI (2\pi r) \quad (4.62)$$

जहाँ  $N$ —लपेटों की कुल संख्या,  $r$ —छल्ले की त्रिज्या।

यदि ऋजु नल्लज (योंही लंबा पर  $n$  लपेटों पर बनी  $n$  लपेटों) का



चित्र 56. छल्लज।

नबार्ड लपेटनों के व्यास की तुलना में अत्यधिक बड़ी है, तो हम नल्लज की भीतर (लपेटनों से दूर, नल्लज के अक्ष पर) क्षेत्र की तीव्रता  $H_{\text{नल्लज}}$  सभी बिंदुओं पर समान जानी है।

$$H_n = nI, \quad (4.63)$$

जहाँ  $n$ —नल्लज की इकाई लंबाई पर लपेटनों की संख्या। योंही नल्लज में क्षेत्र समरूप होता है।

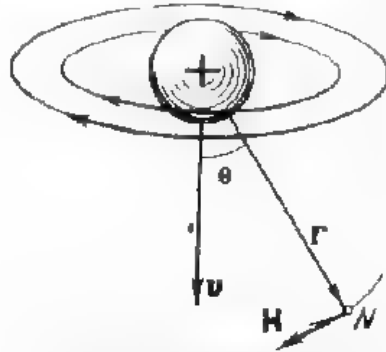
गतमान आविष्ट कण (चित्र 57) के क्षेत्र की तीव्रता

$$H_Q = \frac{Q \cdot r_0}{4\pi r^2} \quad (4.64)$$

जहाँ

$$\text{मापक } H_Q = \frac{Q \cdot r \sin \theta}{4\pi r^2}$$

जहाँ  $O$  - कण का आवेश,  $v$  - उसका वेग,  $r$  - कण से उस बिंदु तक खींचा

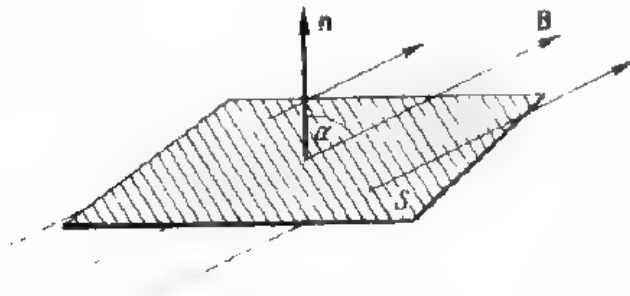


चित्र 57. गतिमान कण का चुंबकीय क्षेत्र।

गया विजय सदिश जिस पर क्षेत्र का तीव्रता ज्ञात करनी है,  $\theta = v$  व  $r$  के बीच का कोण,  $r_D =$  इकाई सदिश।

#### 4 चुंबकीय क्षेत्र में धारायुक्त चालक के स्थानांतरण से संपन्न कार्य, विद्युचुंबकीय प्रेरण

समरूप क्षेत्र में समसूत्री आकृति में गुजरने वाला चुंबकीय प्रवाह चुंबकीय प्रेरण के मापक  $B$ , आकृति के क्षेत्रफल  $S$  और आकृति के तल के अभिलंब के साथ क्षेत्र की दिशा द्वारा बने कोण  $\alpha$  की कोज्या के गुणफल को कहते हैं (चित्र 58)।



चित्र 58. चुंबकीय प्रवाह की परिभाषा।

$$\phi = BnS = BS \cos \alpha, \quad (4.65)$$

यहाँ  $n$  - तल की उस दिशा में इकाई सदिश।

चुंबकीय प्रवाह की इकाई वेबेर (Wb) है। Wb ऐसा चुंबकीय प्रवाह है जो 1 T प्रेरण वाले समरूप चुंबकीय क्षेत्र के कारण अभिलंबी काट के  $1m^2$  क्षेत्र में गुजरता है।

चुंबकीय क्षेत्र में धारायुक्त चालक की गति के कारण संपन्न कार्य

$$W = \int \phi_1 d\phi_2 - \phi_1 \phi_2 \quad (4.66)$$

यहाँ  $\phi_1$  - स्थानांतरण के आरम्भ में चुंबकीय क्षेत्र का चुंबकीय प्रवाह  $\phi_2$  - स्थानांतरण के अंत में चुंबकीय क्षेत्र का चुंबकीय प्रवाह।

परिवर्तनशील चुंबकीय प्रवाह संचालक में उत्पन्न करता है। प्रेरण (इंड्यूसिड) या चक्रवातिक विद्युत क्षेत्र) उत्पन्न करता है। प्रेरण क्षेत्र का मापन प्रेरण बल (ए. 143) की विधा के रूप में प्रारंभ होता है। इस मापन का विद्युचुंबकीय (संक्षेप में विद्यु) प्रेरण कहते हैं और इसमें उत्पन्न विद्युत्वाहक बल को प्रेरण का विवाह कहते हैं। प्रेरण का विवाह दो धारा प्रेरित धारा कहलाते हैं। प्रेरित धारा की दिशा ऐसा होता है कि उसका चुंबकीय क्षेत्र प्रेरित धारा को उत्पन्न करने वाले चुंबकीय क्षेत्र के परिवर्तन को रोकता है (लेन्स का नियम)।

प्रेरण का विवाह निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जा सकता है,

$$E = - \frac{1}{\Delta t} \frac{d\phi}{dt}$$

अर्थात् मापक के अनुसार प्रेरण का विवाह आकृति द्वारा परिभाषित प्रेरण बल चुंबकीय प्रवाह में परिवर्तन की दर के बराबर होता है। (चुंबकीय क्षेत्र  $\Delta\phi/\Delta t$  के चिह्न विपरीत है - न्यूटन के नियमानुसार)।

#### 5 स्वप्रेरण

चालक में बहने वाली धारा में किसी भी प्रकार का परिवर्तन होने पर उसमें प्रेरण का विवाह उत्पन्न हो जाता है जिसका कारण इस धारा का चुंबकीय प्रवाह होता है। स्वप्रेरण कहते हैं।

स्वप्रेरण का विवाह ज्ञात करने के लिए सूत्र है

$$L = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r S}{l} \quad (4.68)$$





$$\mathbf{J} = (\sum p_n), \quad (4.75)$$

चुंबकता चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता  $H$  दिशा की समानुपाती होती है

$$\mathbf{J} = \chi \mathbf{H} \quad (4.76)$$

राशि  $\chi$  का चुंबकीय प्रवणता कहते हैं, यह एक विमाहीन राशि है  $B$ ,  $H$ ,  $J$  और  $\chi$  व  $\mu$  के बीच निम्न संबंध है

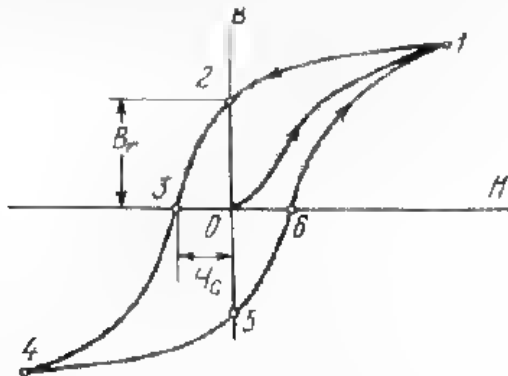
$$\mu B_m = \mu_0 J \quad B = \mu_0 H + \mu_0 J, \quad \mu = 1 + \chi \quad (4.77)$$

किसी द्रव्य की विशिष्ट प्रवणता  $\chi_p$ , उस द्रव्य की सात्वता (प्रवणता)  $\chi$  व इसके घनत्व  $\rho$  से अनुपात के बराबर होती है, अर्थात्  $\chi_p = \chi / \rho$

$H$  पर  $B$  (या  $J$ ) की निर्भरता निर्धारित करने वाले वक्र को चुंबकन का वक्र कहते हैं।

जिन द्रव्यों के लिए  $\chi$  शून्य से थोड़ा सा अधिक होता है, उन्हें पराचुंबकीय पदार्थ (पराचुंबिक) कहते हैं, जिन द्रव्यों के लिए  $\chi < 0$  वे पराचुंबकीय पदार्थ (पाराचुंबिक) कहलाते हैं जिन द्रव्यों के लिए  $\chi$  इकाई से बहुत अधिक होता है उह लौहचुंबिक का नाम दिया गया है

लौहचुंबिक पराचुंबिक व पाराचुंबिक में कई गुण में भिन्न होते हैं।



चित्र 59 निरावस्थाण (a) अचुंबकित अवस्था से चुंबकन का वक्र (b) चुंबकन का वक्र

(a) लौहचुंबिकों का चुंबकन-वक्र जटिल प्रकृति का होता है (चित्र 59), पाराचुंबिकों के लिए वह धनात्मक कोणिक समुणक वाली सरल रेखा जैसा

होता है और पाराचुंबिकों के लिए  $\chi$  ऋणात्मक कोणिक समुणक वाली सरल रेखा जैसा

लौहचुंबिकों की चुंबकीय प्रवणता  $\chi$  पर तापमान  $T$  की तीव्रता पर निर्भर करती है, पाराचुंबिक व पाराचुंबिकों में ऐसी अनवरतता नहीं है।

लौहचुंबिकों के लिए अवसर आसानी से चुंबकीय क्षितिज ( $\mu_r$ ) निर्दिष्ट की जाती है यह चुंबकीय क्षेत्र का सीमाना चुंबक है यह राशि की तीव्रता और उसका प्रेरण शून्य के निर्भरता है, अर्थात्

$$\mu_r = \lim_{H \rightarrow 0} \mu$$

लौहचुंबिकों का लिए  $H$  पर  $\mu$  का निम्नतम मान  $\mu_{min}$  को  $\mu_{min}$  माना जाता है (देखें चित्र 61a)। अवसर महत्तम मान  $\mu_{max}$  को  $\mu_{max}$  माना जाता है (देखें चित्र 98 व 99)

(b) लौहचुंबिकों की चुंबकीय प्रवणता तापक्रम  $T$  के साथ घटती जाती है कि नियत तापक्रम  $T_c$  पर लौहचुंबिक पाराचुंबिक में परिवर्तित हो जाता है

इस तापक्रम का क्यूरी-तापक्रम या क्यूरी बिंदु कहते हैं। तापमान  $T$  से  $T_c$  से कम तापक्रम पर द्रव्य पाराचुंबिक होता है। क्यूरी-तापक्रम के तापमान  $T_c$  से अधिक तापक्रम पर चुंबकीय प्रवणता तेजी से बढ़ जाती है

पाराचुंबिकों और कुछ पाराचुंबिकों (जैसे धातवीय धातुएँ) में चुंबकीय प्रवणता तापक्रम पर निर्भर नहीं करती। पाराचुंबिकों की चुंबकीय प्रवणता तापक्रम के साथ घटती जाती है (देखें चित्र 59)। पाराचुंबिकों को छोड़ कर) परम तापक्रम व शून्य तापक्रम के बीच परिवर्तित होते हैं।

(c) निचुंबकित लौहचुंबिकों का चुंबकीय क्षेत्र द्वारा चुंबकित होना  $H$  पर  $B$  (या  $J$ ) की निर्भरता वक्र 0-1 द्वारा निर्दिष्ट है (देखें चित्र 59)। इस चुंबकन का आरंभिक वक्र कहते हैं। क्षणिक क्षेत्र में चुंबकन तेजी से बढ़ता है फिर धीमा हो जाता है और एक स्थिर मान पर स्थिर हो जाती है और क्षेत्र (की शक्ति) में और वृद्धि करने पर भी चुंबकन व्यावहारिकता स्थिर रहता है

चुंबकता  $J$  का महत्तम मान सतृप्त-चुंबकता ( $J_s$ ) कहलाता है।  $H$  को शून्य तक कम करने पर  $B$  (या  $J$ ) वक्र 1-2 के अनुसार बदलता है। इस क्षेत्र में परिवर्तन क्षेत्र की तीव्रता में होने वाले परिवर्तन से फल प्राप्त लगता है, इस सतृप्ति को चुंबकीय चिंतावन (magnetic hysteresis) कहते हैं।

यह वक्र hysteresis (देखें चित्र 59) शब्द से आता है। —अन

क्षेत्र हटाकर पर (जब  $H=0$ ) बचा हुआ चुबकीय प्रेरण अवशिष्ट चुबकीय प्रेरण ( $B_r$ ) कहलाता है। चित्र 59 में यह खंड 0-2 के बराबर है। लौहचुम्बिक को निचुम्बिक करने के लिए अवशिष्ट प्रेरण को दूर करना पड़ता है। इसके लिए आवश्यक है कि विपरीत दिशा वाला क्षेत्र उत्पन्न किया जाय। विपरीत दिशा वाले क्षेत्र में चुबकीय प्रेरण का परिवर्तन-वक्र 2-3-4 द्वारा निरूपित होगा। क्षेत्र की तीव्रता  $H_1$  (चित्र 59 में खंड 0-3), जिम् पर चुबकीय प्रेरण शून्य के बराबर हो जाता है, निम्नही तीव्रता (या बल) कहलाती है।

$+H$  से  $-H$  के अंतराल में चुबकीय क्षेत्र की आवृत्ति रूप में परिवर्तनशील तीव्रता पर  $B$  (या  $J$ ) की निर्भरता वक्र 1-2-3-4-5-6-1 द्वारा निरूपित होती है। ऐसे निर्भरता वक्र का चित्रावन-पाश कहते हैं।

क्षेत्र की तीव्रता में  $+H$  से  $-H$  तक के परिवर्तन के एक चक्र में खर्च हुई ऊर्जा चित्रावन-पाश के क्षेत्रफल को समानुपाती होती है।

लौहचुम्बिक के गुणों का कारण उनमें ऐसे 'इलाको' की उपस्थिति है, जो बाह्य चुबकीय क्षेत्र के बिना ही स्वतःस्फूर्त रूप से मूलस्थिती की अवस्था तक चुम्बकित होते हैं; ऐसे इलाको को प्रांत कहते हैं। प्रांतों की स्थिति और चुम्बकनता ऐसी होती है कि क्षेत्र की अनुपस्थिति में कुल जोड़ी गयी चुम्बकनता शून्य के बराबर होती है। जब लौहचुम्बिक का चुबकीय क्षेत्र में रखा जाता है तब प्रांतों के बीच की सीमा-रेखाएं स्थानांतरित हो जाती हैं (क्षीण क्षेत्रों में), प्रांतों की चुम्बकनता के सदिश चुम्बककारी क्षेत्र की दिशा में घूम जाते हैं (प्रबल क्षेत्रों में) और फलस्वरूप लौहचुम्बिक चुम्बकित हो जाते हैं।

चुबकीय क्षेत्र में रख गये लौहचुम्बिक के रेखिक नापों में परिवर्तन होता है, अर्थात् उसकी रूप-विकृति होती है। इस संवृत्ति का चुबकीय अपरूपण कहते हैं। लंबाई में मापेक्षिक वृद्धि लौहचुम्बिक की प्रकृति और चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता पर निर्भर करती है। चुबकीय विरूपण प्रभाव की मात्रा क्षेत्र की दिशा पर निर्भर नहीं करती, कुछ द्रव्यों में क्षेत्र के अन्तरीर लंबाईयों में कमी आ जाती है (जैसे निकल में) और कुछ में वृद्धि (जैसे क्षीण क्षेत्रों के कारण ताँबे में)। इस संवृत्ति का उपयोग 100 kHz तक की आवृत्ति वाले परासोनिक शक्ति प्राप्त करने में होता है।

## सारणी और ग्राफ

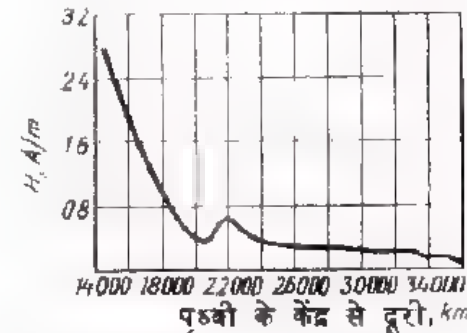
### पृथ्वी का चुबकीय क्षेत्र

पृथ्वी चुबकीय क्षेत्र में आवृत है।

पृथ्वी के जिन बिंदुओं पर चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता की दिशा रद्व होती है उन्हें चुबकीय ध्रुव कहते हैं। इस बिंदु पर क्षेत्र शून्य होता है। उत्तरी चुबकीय ध्रुव (यहां बल-रेखाओं की दिशाएं नीचे की ओर हैं) और दक्षिणी चुबकीय ध्रुव (यहां बल-रेखाओं की दिशाएं ऊपर की ओर हैं)। पृथ्वी के चुबकीय व सामाजिक ध्रुव संपात नहीं करते; उत्तरी चुबकीय ध्रुव दक्षिणी ध्रुव से थोड़ा दक्षिणी चुबकीय ध्रुव—उत्तरी गोलार्ध में। चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता अंतर में बदलती रहती है।

चुबकीय ध्रुवों में गुजरने वाली सरल रेखाएं पृथ्वी के चुबकीय अक्ष कहती हैं। चुबकीय अक्ष के अभिलंब तल पर स्थित चुबकीय विष्वक चुबकीय बिन्दु कहलाती है। चुबकीय विष्वक के बिंदुओं पर चुबकीय क्षेत्र तीव्रता की दिशाएं क्षैतिज होती हैं। चुबकीय अक्ष पृथ्वी के अक्ष के समान अक्ष के साथ संपात नहीं करता।

चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता चुबकीय विष्वक पर करीब  $27 \text{ A/m}$  होती है और चुबकीय ध्रुवों पर—करीब  $52.5 \text{ A/m}$ । कुछ स्थानों पर  $100 \text{ A/m}$  तक अधिक होती है; इन स्थानों को चुबकीय असमरति कहते हैं। चुबकीय असमरति के कुम्कारियाँ अचल (जैसे रिफिक्ट में उत्कृत या सामान्य रूप में) की तीव्रता  $\sim 160 \text{ A/m}$  तक है।



चित्र 50, अधिक ऊँचाइयों पर पायिव चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता।

सारणी 98. विद्युतकनीक में प्रयुक्त इस्पातों के गुण

इस्पात का नाम	$\mu_{in}$	$\mu_{max}$	$H_c$ A m	$B$ (2kA, cm पर) T	$\rho$ $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
9 31	250	5500	43.8	1.46	0.5
9 41	300	6000	35.8	1.46	0.6
9 42	400	7500	31.8	1.45	0.6
9 45	600	10000	19.9	1.46	0.6
9 310	1000	30000	9.6	1.75	0.5

सारणी 99. लोहा-निकेल धातुमिश्र के गुण

धातु मिश्र	$\mu_{in}$	$\mu_{max}$	$H$ A m	$M_s$ MA m	$\rho$ $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
79HM	20000	100000	2.4	0.64	0.55
30HNC	35000	120000	1.2	0.56	0.62
50HCX	3000	30000	15.9	0.80	0.85
50H	3000	35000	9.55	1.19	0.45
65HH	3000	40000	7.90	1.04	0.35
90HH	2000	20000	15.9	1.19	0.45
Mn-समश्लेष	20000	75000	2.4	0.67	0.55
70% Ni रेमैनेबल	10000	40000	2.1	0.85	0.16

टिप्पणी \* -1. इन मिश्र-धातुओं की चुंबकीय क्षमता बहुत ऊँची होती है और इस कारण वास्तव में वे उच्च आधुनिक प्रभाव से लेवी के साथ कम होकर लगभग 1/3 तक अतिरिक्त बल यांत्रिक प्रतिबल पर भी बहुत निर्भर करती है।  
\*, प्रतीक ऊर्ध्व पृ. 184-186 पर।

सारणी 100. ठोस चुंबिक द्रव्यों के गुण

द्रव्य	$H$ k A m	$I$ T	$HB$ 2 k J m <sup>3</sup>
इस्पात EX3	11.5	0.01	1.2
EB6	1.5	0.01	1.2
BX5K5	2.9	0.01	5
EX9K15M	1.5	0.01	1.2
प्लैटिनम-चुंबकीय मिश्रधातु	11.5	0.01	1.2
वेरियम फराइट	11.5	0.01	1.2
Alni 1 (AH 1)	0.9	0.01	1.2
Alni 3 (AH 3)	0.3	0.01	1.2
Alnico 12 (AHKO 1)	10.8	0.01	1.2
Alnico 18 (AHKO 3)	51.7	0.01	1.2
Alnisi (AHK)	59.7	0.01	1.2
Magnico AHKO 4	39.8	0.01	1.2

टिप्पणी 1—इन द्रव्यों का निर्गही बल बहुत अधिक होता है और वे बहुत अधिक बल के काम आते हैं। इनका एक महत्वपूर्ण लक्षण है कि वे 1000 K पर भी अत्यधिक उच्च मान। यह सभी लौहचुंबिकों को आघात 1000 K पर भी अत्यधिक ऊर्जा के साथ समाप्त होती है।

सारणी 101. चुंबकीय पारविद्युतों के गुण

द्रव्य	$\mu$	$10^{-4} K$
प्रम पैर T4 180	60-200	100
आल सीफर T4-90	75-85	400
आल सीफर T4-60	55-65	100-400
आल सीफर B4-32	30-34	200-1500
रीड कार्बोनिज	11-14	50-150
फेरो-एलास्ट	9-10	50-150
आल सीफर P4-6	5-8	10-150

टिप्पणी 1—चुंबकीय पारविद्युत लौहचुंबिकों के समान ही  $10^{-4} (10^{-3} \text{cm})$  में वर्गीकृत हैं, जो पारविद्युत द्वारा परस्पर संबद्ध रहते हैं। इसका एक विशेष प्रतिरोध  $\rho$  से  $400 \Omega \cdot \text{cm}$  के परास में होता है।  $\alpha$  प्रतिरोध का मापन भी महत्वपूर्ण है।

सारणी 102. फेराइटों के मुख्य गुण

फेराइट	$\mu_{10}$	$\chi \times 10^3$ $10^{-6} \text{K}^{-1}$	$\rho \times 10^3$ $\text{g cm}^{-3}$
निकेल-जिंक व नोबियम जिंक फेराइट			
2000HH	2000	6	} $10^3-10^7$
600HH	600	6	
400HH	400	5	
200HH	200	4-25	
100HH	100	10-30	
50BH	50	50	
मैंगनीज जिंक फेराइट			
4000HM	4000	2	} 10
3000HM	3000	3	
2000HM	2000	0.6-1.5	
1000HM	1000	0.5-1.5	
100HM	1000	1.5	

टिप्पणी : फेराइट धातुओं (निकेल, जस्ता, लोहा) के आक्साइडों का मिश्रण है, जिसका विशिष्ट प्रतिरोध विशेष तापीय उपचार द्वारा बढ़ा दिया जाता है। ये पदार्थों का तापकर्म गुणक है।

सारणी 103 पराचुंबिकों व पारचुंबिकों की चुंबकीय क्षमता

पराचुंबिक	$(\mu-1) \times 10^{-6}$	पारचुंबिक	$(1-\mu) \times 10^{-6}$
नाइट्रोजन	0.013	हाइड्रोजन	0.063
हवा	0.38	बैजीन	7.5
आक्सीजन	1.9	एथीन	9.0
एथेनाइट	14	तांबा	10.3
अनुमोनियम	23	कॉपर	12.6
एस्टर	176	साधारण नमक (समिश्र)	12.6
ग्लिसॉल	360	क्वाटर्स	15.1
द्रव आक्सीजन	3400	विस्मय	176

सारणी 104. धातुओं का स्वरो तापक्रम

धातु	$T_c$ , °K	प्रतिरोध, $\rho \times 10^{-8} \text{ ohm cm}$	$T_c$ , °C
मेरक्युरियम	0	0.0001	585
सुवर्ण मिश्रधातु		0.0001	
पैर्म-एलोय (30%)	70	2	219
राइमलर मिश्रधातु	200	10	
निकेल	350	10	71
वैद्यू मिश्रधातु 73%	550	10	110

सारणी 105. धातुओं तथा अर्धचालकों की चुंबकीय क्षमता  
(18-20° से° पर)

धातु	$\chi_p$ $10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$	द्रव	$\chi_p \times 10^{-6}$
अनुमोनियम (ब)	0.58	टिन (ब)	0
इरियम (ब)	-0.11	रेनियम (ब)	0
एथेनाइट (ब)	-0.80	तांबा (ब)	0
कैडमियम (ब)	0.18	पारा (द्र)	0
कैल्शियम (ब)	1.1	मैंगनीज (β α)	0
कोबाल्ट (ब)	3.6	लीथियम	0
जर्मेनी (ब)	0.19	वैनेडियम (ब)	1.4
जर्मोनियम	-0.12	सीसा (ब)	0.12
जस्ता (ब)	-0.14	सेलेनियम (ब)	0
एस्टर (ब)	0.28	सोडियम	0

टिप्पणी - कोष्ठक में दिय गये प्रतीक : ब—अर्धचालक, द्र—द्रव, अ—अक्रिस्टलीय, α व β—संवर्धन स्थान।









परिचालक वाहताओं के बीच प्रावस्था का अंतर निम्न समीकरण से निर्धारित होता है।

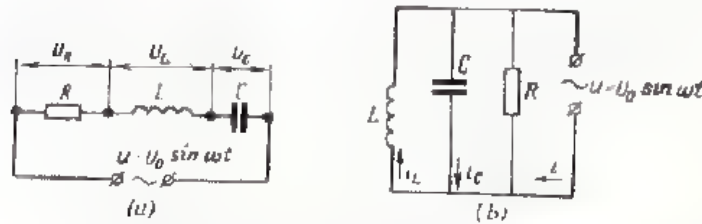
$$\cos \varphi = r/Z, \quad (4.86)$$

यदि शुक्ल अनुनादी आकृति में  $r_L = r_C$ , तो  $\varphi = 0$ : पूर्ण प्रतिरोध का मान निम्नतम होता है ( $r$  के बराबर; दे. चित्र 70), और धारा-बल का आयाम महत्तम मान ( $I_{\max}$ ) रखता है (जब वाह्य वाहता  $L_0$  का मान स्थिर हो)। इस अवृत्ति को **शुक्ल वैद्युत अनुनाद** (या **वोल्टता का अनुनाद**) कहते हैं।

वाहताओं के अनुनाद में प्रेरिता व सघनक पर वाहताओं के आयाम समान होते हैं, पर इन वोल्टताओं ( $U_L$  व  $U_C$ ) के क्षणिक मान प्रावस्था की दृष्टि से परस्पर विपरीत होते हैं।

अनुनाद की स्थिति में सघनक पर वोल्टता के आयाम  $U_C$  व वाह्य परिवर्ती वाहता के आयाम  $I_0$  का अनुनाद आकृति की उत्कृष्टता  $Q$  कहलाता है। यदि  $r(2L) \ll \omega_0$ , तो  $Q = \omega_0 L/r = 1/(\omega_0 CR) \gg 1$  अनुनादो आवृत्ति है जो परिस्थिति  $r_L = r_C$  द्वारा निर्धारित होती है।

अनुनाद में (यदि  $Q \gg 1$ ), सघनक व प्रेरिता पर वोल्टताओं के आयाम वाह्य वाहता के आयाम से बहुत अधिक होते हैं, क्योंकि  $U_L = U_C = Q U_0$ ।



चित्र 65. शुक्ल (a) और समांतर व अनुनाद (b) आकृतियाँ।

प्रेरिता  $L$ , प्रेरिता  $L$  व सक्रिय प्रतिरोध  $r$  को परिवर्ती वोल्टता के स्रोत  $E$  का समानरूप रूप में जोड़ा जा सकता है (चित्र 65b)। इस प्रकार में प्राप्त गयी आकृति  $LC$  का **समांतर अनुनादी आकृति** कहते हैं। चित्र 65b

में दिखायी गयी समांतर अनुनादी आकृति का पूर्ण प्रतिरोध निम्न समीकरण द्वारा निर्धारित होता है।

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{r^2} + \left( \frac{1}{r_L} - \frac{1}{r_C} \right)^2, \quad (4.87)$$

जहाँ पूरे परिपथ में वोल्टता  $U$  व धारा  $i$  के बीच प्रावस्था अंतर— निम्न समीकरण से

$$\cos \varphi = r \left( \frac{1}{r_L} - \frac{1}{r_C} \right) \quad (4.88)$$

प्रावस्था अंतर  $\varphi = 0$  होगा, यदि  $r_L = r_C$ ; इस अवृत्ति का **समांतर वैद्युत अनुनाद** (या **धारा का अनुनाद**) कहते हैं। समांतर अनुनाद में पूर्ण प्रतिरोध  $Z$  का मान महत्तम होता है ( $Z_{\max}$ )। पूरे परिपथ में धारा-बल का आयाम निम्नतम मान ( $I'_{\min}$ ) रखता है, सघनक व प्रेरिता में धारा-बल  $I_C$  व  $I_L$  के आयाम बराबर होते हैं, पर धारा  $I_C$  व  $I_L$  के क्षणिक मान प्रावस्था की दृष्टि से विपरीत होते हैं। समांतर अनुनादी आकृति की उत्कृष्टता  $Q = I_C = I_L = I_0 / I'_{\min}$ ; यदि  $Q \gg 1$ , तो अनुनाद की स्थिति में शाखा  $L$  व  $C$  के धारा-बल के आयाम पूर्ण धारा  $I'_{\max}$  के आयाम से अधिक होते हैं। आदर्श समांतर आकृति (दे. चित्र 65b) में  $\omega/\omega_0$  पर अनुपात  $I'_{\max}/I$  की निर्भरता वैसी ही होती है, जैसी शुक्ल अनुनादी आकृति में  $I/I_{\max}$  की (दे. चित्र 72);  $\omega_0$  अनुनाद की आवृत्ति है, जो  $r_L = r_C$  द्वारा निर्धारित होती है।

समांतर आकृति का सही हिसाब लगाने के लिए परिपथ में सक्रिय प्रतिरोध के  $L$  व  $C$  को ध्यान में रखना चाहिये। प्रेरिता व धारिता में सक्रियता की स्थिति में  $\omega = \omega_0$  पर अनुपात  $Z/Z_{\max}$  की निर्भरता चित्र 71 के ग्राफ में दिखायी गयी है।

परिवर्ती धारायुक्त चालक में प्रेरित धारा उत्पन्न होती है, जिसके कारण चालक की सतह पर धारा का घनत्व अधिक हो जाता है, धर्तन्यत्व कि उसके बीच में। उच्च आवृत्तियाँ पर चालक के अक्ष के पास धारा का घनत्व यावहारिकतः शून्य हो जा सकता है। इस अवृत्ति को **सतह प्रभाव** (या **त्वक्षीय प्रभाव**) कहते हैं।

## 2. दोलक आकृति

वेद्युत गणिता (आवेश धारा-बल दालन) में सीमित परिवर्तन, जो किसी आगत मान के सापेक्ष पूर्णतः या अंशतः दूरस्थ रहते हैं वेद्युत दोलन कहलाते हैं। परिवर्ती वेद्युत धारा विद्युत दालन का ही एक प्रकार है।

एक आवृत्ति के वेद्युत दोलन आधिकतम स्थितियाँ में दोलक आकृति की मध्यमा से प्राप्त होते हैं।

दोलक आकृति एक सवन परिपथ है, जिसमें प्रेरिता  $L$  और धारिता  $C$  होती है।

आकृति के नैसर्गिक या स्वतंत्र दालन का आवृत्ति कोण

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4.89)$$

इस संबंध का टाक्सन का सूत्र कहते हैं। यह तब लागू होता है जब ऊर्जा की हानि नहीं होती। आकृति में ऊर्जा हानी होने पर (जैसे सक्रिय प्रतिरोध  $r$  के कारण) आकृति का स्वतंत्र दालन तेवर होता है और

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC - \left(\frac{r}{2L}\right)^2}} \quad (4.90)$$

तथा आकृति में धारा नखरे दालन के नियम के अनुसार बदलती रहती है।

$$i = I_0 e^{-\frac{r}{2L} t} \sin \omega t \quad (4.91)$$

नखरे दालन का घात वृ.  $10^8$  पर (चित्र 26) है।

दालक आकृति पर परिवर्ती विद्युत के प्रभाव से आकृति में आरोपित दोलन उत्पन्न होते हैं।  $L$ ,  $C$ ,  $r$  के मान स्थिर होने पर धारा के आरोपित दालनों का आयाम आकृति के दालनों की निजी आवृत्ति और ज्यादा विद्युत के परिवर्तन की आवृत्ति के अनुपात पर निर्भर करता है (दे चित्र 72)।

## 3. विद्युच्चुंबकीय क्षेत्र

विया-मावार्ट-लैंगम के नियमानुसार (दे पृ. 178) धारायुक्त चालक के गिरे सवत बल-रेखाओं वाला चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। ऐम क्षेत्र को भंबरी कहते हैं जिस चालक में परिवर्ती धारा बहती है, उसके गिरे परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र बनेता है।

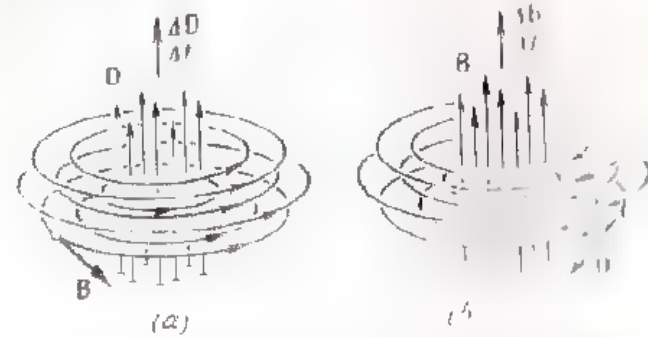
परिवर्ती धारा भचनक से गुजरती है (दे पृ. 178)। स्थिर धारा में गुजरती है; पर यह धारा चंबकीय क्षेत्र नहीं पैदा करती, इस स्थानान्तरण-धारा कहते हैं। स्थानान्तरण धारा के कारण उत्पन्न होता है विद्युत-क्षेत्र है वह आवृत्ति की परिवर्ती धारा के कारण उत्पन्न होती है। स्थानान्तरण धारा का मान

$$D = \frac{\Delta D}{\Delta t} \quad (4.92)$$

या  $D = \frac{dD}{dt}$  के अनुसार

आगत में वेद्युत क्षेत्र के स्थानान्तरण में परिवर्तन के कारण पैदा होता है। पर परिवर्ती सवरी चुंबकीय क्षेत्र बनेता है (दे पृ. 178)। स्थानान्तरण धारा के सदिश  $B$  सदिश  $D$  के लंबवत सवती है (दे पृ. 178)।

आगत का व्यक्त करने वाला गणितीय सूत्र संवेग-क्षेत्र का प्रथम समीकरण है।



जब  $\Delta D$  वेद्युत क्षेत्र के स्थानान्तरण में परिवर्तन से उत्पन्न होता है।

संवेग-क्षेत्र का प्रथम समीकरण  $b$  चुंबकीय क्षेत्र में उत्पन्न होता है।

दे पृ. 178 को अनुसंधान संवेग-क्षेत्र का सूत्र। (दे पृ. 178)

विद्युच्चुंबकीय प्रण के कारण सवत बल रगती है। (दे पृ. 178)। सवत बल उत्पन्न होता है जो प्रण के विद्युत (दे पृ. 178) के कारण पैदा होता है।

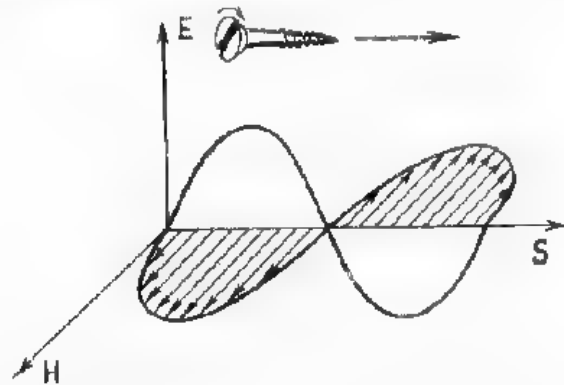
विद्युत क्षेत्र के प्रण में समय के अनुसार परिवर्तन होता है। पर भंबरी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है (दे पृ. 178)। पर

विद्युत क्षेत्र के सदिश  $D$  सदिश  $B$  के लंबवत होता है। (दे पृ. 178)।

पर भंबरी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है। पर भंबरी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है।

पर भंबरी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है। पर भंबरी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है।

वैद्युत क्षेत्र  $E$  व चुंबकीय क्षेत्र  $H$  का दिशा-संज्ञक  $S$  का सामान्यिक स्थिति।



चित्र 67 विद्युच्चुंबकीय तरंग में सदिश  $E$ ,  $H$  व  $S$  का सामान्यिक स्थिति।

मैक्सवेल के समीकरणों से निष्कर्ष निकलता है कि वैद्युत (या चुंबकीय) क्षेत्र में समय के अनुसार होने वाले सभी परिवर्तन एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर प्रसारित होते रहते हैं। इस प्रक्रिया में वैद्युत व चुंबकीय क्षेत्रों का परस्पर रूपांतरण होना रहता है। विद्युच्चुंबकीय तरंग परिवर्तनशील वैद्युत व चुंबकीय क्षेत्रों का व्योम में परस्पर सन्नद्ध प्रसरण है। इसी व्योम में प्रसरण करती विद्युच्चुंबकीय तरंग में वैद्युत व चुंबकीय क्षेत्रों की तीव्रताओं के सदिश ( $E$  व  $H$ ) परस्पर लंब होते हैं और प्रसरण की दिशा सदिश  $E$  व  $H$  के लंब के साथ लंब होती है (चित्र 67)।

निर्वात में विद्युच्चुंबकीय तरंगों के प्रसरण का वेग तरंग-लंबाई पर निर्भर नहीं करता और उसका मान होता है

$$c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$$

विभिन्न माध्यमों में विद्युच्चुंबकीय (संक्षेप में विद्यु-अनु) तरंगों के वेग निर्वात में उसके वेग से कम होते हैं,

$$v = \frac{c}{n}, \quad (4.93)$$

जहाँ  $n$  माध्यम का अपवर्तनांक (दे पू. 213)

विद्यु-तरंग ऊर्जा वहन करती है

विकिरण प्रवाह का तलीय घनत्व  $S$  एक वेगी राशि है, जिसका मापक तरंग द्वारा प्रसरण की दिशा के लंब स्थित  $E$  व  $H$  के उत्पन्न क्षेत्रफल में इकाई समय में वहन की जाने वाली ऊर्जा के बराबर होता है

$$S = |EH| \quad (4.94)$$

यदि  $S$  की पार्श्वदृष्टि सदिश कहने दें; उसका दिशा-संज्ञक प्रसरण की दिशा के साथ लंब होती है।

#### 4. विद्युच्चुंबकीय तरंगों का उत्सर्जन

त्वरण के साथ गतिमान आवेशक कण विद्यु-तरंगों का उत्सर्जन करता है। द्विध्रुव (दे पू. 134), जिसके आवेशों की परस्पर दूरी  $2a$  तथा आवेश  $q$  के अनुसार बदलती है विद्यु-तरंग उत्सर्जन करता है। विकिरण-प्रवाह है

$$\phi_d = Q^2 \omega^4 / (12\pi\epsilon_0 c^3), \quad (4.95)$$

जहाँ  $Q$  द्विध्रुव का आवेश,  $\epsilon_0$  वैद्युत स्थिरांक,  $\omega$  आवृत्ति,  $c$  निर्वात में तरंग-वेग।  $\phi_d$  इकाई समय में उत्सर्जित ऊर्जा का मापक है।

विद्यु-तरंगों का उत्सर्जन हर ऐसा चालक करता है जिसमें आवेशों का गतिमान होना है। उत्सर्जन सबसे अधिक कारगर तब होता है, जब आवेशों का विकिरण तरंगों की लंबाइयों के साथ तुलनीय हो। कारगर हग में उत्सर्जित (या ग्रहण) करके वाला मापक एरियल कहलाता है।

धारा का मूल  $i\Delta$  जिसमें धारा  $i$  व लंबाई  $\Delta$ ।  $i$  अनुसार बदलता है विद्यु-क्षेत्र उत्सर्जित करता है, जिसका वैद्यु-क्षेत्र  $E$  व चुंबकीय क्षेत्र  $H$  की तीव्रताएं क्रमशः

$$E = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{i\Delta}{r} \sin \theta \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} (r - ct) \right)$$

और

$$H = \frac{1}{2} \frac{i\Delta}{r} \sin \theta \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} (r - ct) \right)$$

होती है जहाँ  $\theta$  धारा-मूल  $i\Delta$  व प्रक्षेप बिंदु की दूरी का कोण होता है। यदि चालक में धारा की दिशा के बीच का कोण  $2\alpha$  है, तब



चित्र 68. धारा-मूल द्वारा उत्पन्न व चुंबकीय क्षेत्रों की तीव्रता का कलन

समस्या,  $\lambda$ —तरंग की लंबाई,  $r$ —धारा-मूल व बिंदु A की आपसी दूरी, जिस पर तीव्रता मापी जा रही है, साथ ही :  $r \gg \lambda$   $r \gg \Delta l$  (चित्र 68)

धारा-मूल  $i\Delta l$  द्वारा उत्पन्न विकिरण प्रवाह  $\phi$  निम्न सूत्र द्वारा कलित होता है

$$\phi = \frac{2\pi}{3} \sqrt{\epsilon_0} \left( \frac{i\Delta l}{\lambda} \right)^2 \quad (4.31)$$

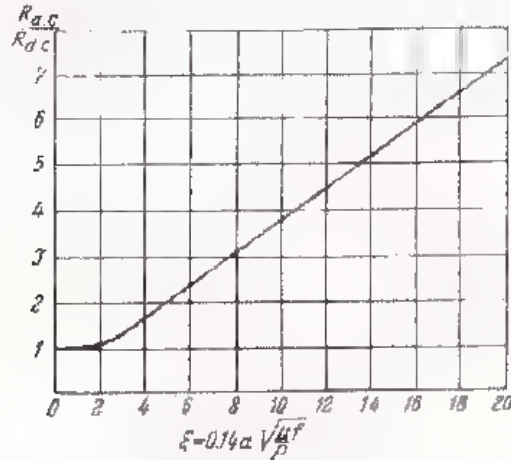
### सारणी और ग्राफ

स्थिर व परिवर्ती धाराओं के लिए प्रतिरोध

परिवर्ती व स्थिर धाराओं के विकट प्रतिरोध का अनुपात परासितक पर निर्भर करता है

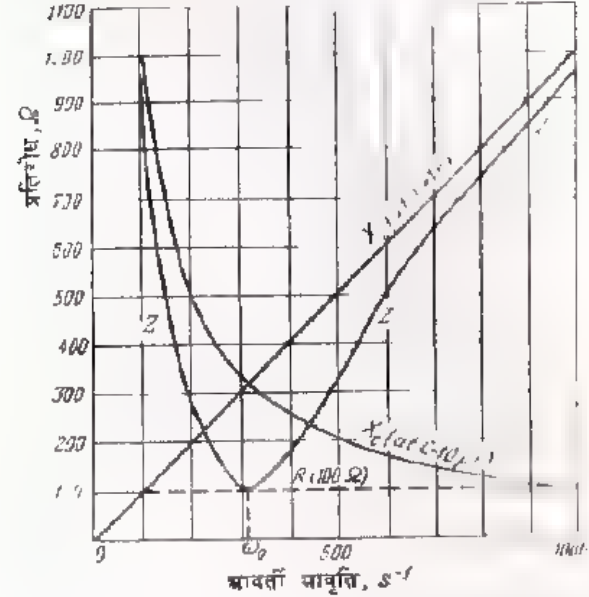
$$Z = 0.14 \sqrt{\mu f}$$

जहाँ  $d$ —वाइर का व्यास (cm में)  $f$ —आवृत्ति (Hz में),  $\mu$ —विशिष्ट प्रतिरोध (12 cm में)  $\mu$ —चुंबकीय प्रेरिता

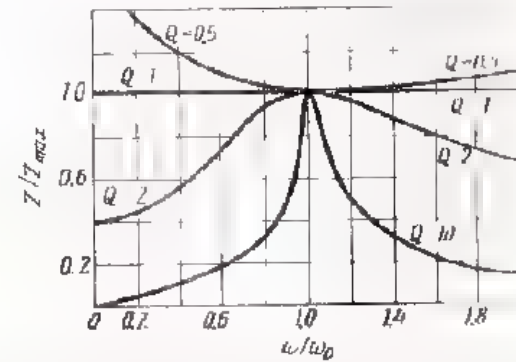


चित्र 69 परासितक  $\xi$  पर परिवर्ती व स्थिर धाराओं पर प्रतिरोधों के अनुपात की निर्भरता।

आवृत्ति पर श्रेय, धारक व पूर्ण प्रतिरोधों की निर्भरता

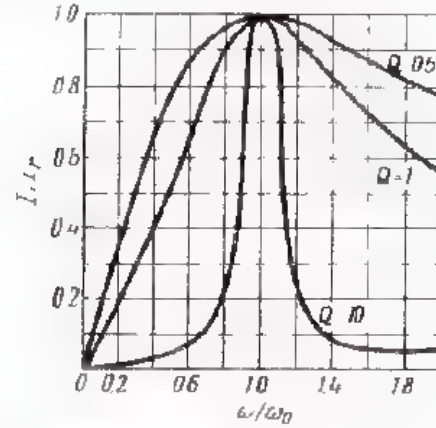


चित्र 70 श्रृंखल अनुनादी वाक्य में श्रेय, धारक व पूर्ण प्रतिरोधों में आवृत्ति के साथ होने वाले परिवर्तन।



चित्र 71 समानर अनुनादी वाक्य में आवृत्ति पर पूर्ण प्रतिरोध  $Z$  की निर्भरता। अक्षों पर सापेक्षिक मान  $Z/Z_{\max}$  व  $\omega/\omega_0$  दिये गये हैं। कलन उस स्थिति के लिये है, जब  $L$  व  $C$  शाखाओं में सक्रिय प्रतिरोध समान हो।

गुणक अनुनादी आवृत्ति में आवृत्ति पर धारा बल की निर्भरता



चित्र 72. प्रत्येक अनुनादी आवृत्ति में आवृत्ति पर धारा बल की निर्भरता

सारणी 108 तारों के तार में उच्च-वृत्ति वाली धारा की घनत्व-गहनता  $\sigma$

तरंग लम्बाई (cm)	0.1	1	10	100	1000
$\sigma$ (A/cm)	0.05	0.21	0.66	2.02	6.31

$f$  (Hz) : 1. अन्य आवृत्तियाँ तथा अन्य द्रव्यों के लिये इस मान निम्न स्तर द्वारा प्राप्त हो सकता है :  

$$\sigma = 5033 \sqrt{\rho \mu} f$$
 जहाँ  $\rho$  — तार के घनत्व (g/cm<sup>3</sup>),  $\mu$  — निष्पष्ट प्रतिगुणक (1/cm),  $\mu$  — द्रव्य की चुम्बकीय प्रतिक्रिया  $f$  आवृत्ति (Hz)।

2. घनत्व-गहनता घनत्व की तरंग लम्बाई तार की मजबूती से उस दूरी का बहान है तार की लम्बाई में धारा का घनत्व  $\sigma$  गुना कम होता है, 1 आकृतिक-नष्टगणक तार  $\sigma = 2.2$  है।

सारणी 109. विद्युच्चुम्बकीय विकिरण का पैमाना

तरंग लम्बाई	आवृत्ति (Hz)	तरंग	तरंग की शक्ति	सामान्य विद्युत क्षेत्र
$10^6$ km	$10^{13}$	$3 \times 10^{-3}$	अल्प-आवृत्ति की तरंग	अल्प-आवृत्ति की तरंग
$10^5$ km	$10^{11}$	$3 \times 10^{-1}$	दीर्घ-आवृत्ति की तरंग	दीर्घ-आवृत्ति की तरंग
$10^3$ km	$10^9$			1 Hz से 10 <sup>9</sup> Hz तक की तरंगें
$10^2$ km	$10^8$	$3 \times 10^2$	स्वनिक आवृत्तियाँ	स्वनिक आवृत्तियाँ
$1$ km	$10^5$	$3 \times 10^5$	रेडियो-तरंग	दीर्घ, मध्यम, लघु
$1$ m	$10^2$	$3 \times 10^8$		मीटर
$1$ cm	$10$	$3 \times 10^9$		इन्फ्रारेड



(सारणी 109 का अथ

तरंग लम्बाई	आवृत्ति (Hz)	परास	तरंगों (या आवृत्तियों) के गुण	प्राप्ति की मुख्य विधियाँ और उपयोग
1cm	$10^9$	रेडियो-तरंग	सटोमोटर	मेग्नेट्रोन-व त्रिविद्युत जनिका और मेसर (maser) द्वारा उत्पन्न; उपयोग—रडार
1mm	$10^{11}$		मिनिमोटर	सूक्ष्मतरंगी स्पेक्ट्रमदर्शी और रेडियो-ज्योतिर्विज्ञान में
			मध्यवर्ती	
		अवरक्त विकिरण	हैका-माइक्रोन	तप्त पिंडों (आर्क व गैसीय निराविष्टक बल्बों आदि) से विकिरणित, उपयोग—अवरक्त स्पेक्ट्रमदर्शी व कर्पूरे में फोटो-घाती के तन्त्र (अवरक्त किरणों में)
			माइक्रोन	
1μm	$10^{14}$			
		प्रकाश-विकिरण		
		पराबैंगनी	निर्वाह	सूर्य, पारङ-वाष्प बल्ब आदि के विकिरण से उपयोग—पराबैंगनी सूक्ष्मदर्शी, श्वोणित बल्ब और चिकित्सा में
1mm	$10^{17}$		दूर	
1Å	$10^{18}$	गर्भ-र	रंगमर्म	एक्स-रे-नली व अन्य उपकरणों से उत्पन्न होती है जिनमें 1 keV ऊर्जा वाले एलेक्ट्रॉन मदित होते हैं, उपयोग निदान के लिये, चिकित्सा में
			तन्त्र	द्रव्य की रचना के अध्ययन में, कृति खोज (flaw detection) में
			कठोर	

सारणी 110 का अथ

तरंग लम्बाई	आवृत्ति (Hz)	परास	विशेषताएँ	प्राप्ति की मुख्य विधियाँ और उपयोग
1X10 <sup>11</sup>	3X10 <sup>21</sup>	गामा-किरणें		1.1 मेगा ए. इंसि मॉडिफ़ अथ 0.01 MeV वाले एलेक्ट्रॉन के प्रयोग से प्राप्त अन्य पदार्थों के प्रयोग से उत्पन्न होती है, उपयोग—कैंसर के निदान व उपचार में

टिप्पणी :—सारणी में तरंगों की पैमाना दिया गया है। उदाहरण के लिये 1 cm तरंग लम्बाई है (दाएँ cm में) और बायाँ तरंग लम्बाई की अन्य इकाइयाँ हैं—मीटर, आवृत्ति (Hz) में, स्तर 3 में परासों के नाम, स्तर 4 में—आवृत्ति या तरंग लम्बाई के नाम, स्तर 5 में—विक्षुब्धकोय दोहरी को प्राप्त करने की विधियाँ और उनका उपयोग।

अल्पावृत्ति वाली व रेडियो तरंगों की आवृत्ति सबसे कम होती है। ये तरंग विभिन्न द्रव्यमानों द्वारा विकिरणित होती हैं।

अवरक्त विकिरण मुख्यतः परमाणुओं या अणुओं के दोहन से उत्पन्न होता है।

प्रकाश तरंगें या पराबैंगनी विकिरण अणुओं या परमाणुओं के दोहन से उत्पन्न होती हैं। एलेक्ट्रॉन की अवस्था-परिवर्तन से प्राप्त होती है (देखें पृ. 250)।

एक्स-किरणें परमाणु के आणविक अणु से एलेक्ट्रॉन की अवस्था-परिवर्तन (खंडित विकिरण) से, या एलेक्ट्रॉन अथवा अन्य आविष्ट कण का तेजी से प्रक्षालन से उत्पन्न होती हैं।

गामा किरणें नाभिकों के उद्वेगन तथा अन्य प्राथमिक कणों के क्षय से उत्पन्न होती हैं।

कुछ प्रकार की तरंगों के बारे में सूचनाएँ अपने अध्यापक, प्रोफेसर (पृ. 110) में दी गई हैं।

## प्रकाशिकी

### मूल अवधारणाएँ और नियम

**प्रकाशिकीय विकिरण** (प्रकाश)  $0.01 \text{ nm}$  से  $1 \text{ cm}$  की तरंग-लंबाई वाला विद्युचुम्बकीय विकिरण है। ऐसा तरंगों का मान परमाणु व अणु द्वारा है जिनमें परमाणुओं की ऊर्जा अवस्था में परिवर्तन होता है (दे. पृ. 248)। प्रकाशिकी विकिरण में दृश्य विकिरण का परास विनिष्ट है, जिसमें  $410$  से  $760 \text{ nm}$  की लंबाई वाले तरंग आता है।

#### 1. ऊर्जा और प्रकाशीय राशियाँ, प्रकाशमिति

**विकिरण-ऊर्जा** यह किसी पिंड या माध्यम द्वारा उत्सर्जित फोटॉन (दे. पृ. 227) या विद्युचुम्बकीय तरंगों (दे. पृ. 203) की ऊर्जा है। मानवाचित तल में विद्यु तरंगों द्वारा इकट्ठा समय में वहन की जाने वाली ऊर्जा के औसत मान को **विकिरण-प्रवाह** कहते हैं। मानवीय आँख पर अपन प्रभाव के अनुसार सू-वर्णक विकिरण-प्रवाह **ज्योति-प्रवाह** कहलाता है।

**विकिरण प्रवाहों के ऊर्जात्मक**, विकिरण प्रवाह  $\phi$ , और इस विकिरण के प्रसरण की व्योम कोण  $\Omega$  के अनुपात को **प्रकाश की ऊर्जात्मक तीव्रता (विकिरण-तीव्रता)** कहते हैं

$$I_e = \phi / \Omega \quad (5.1)$$

इसकी इकाई है वाट प्रति स्टेरैडियन ( $\text{W}/\text{sr}$ )।

**ऊर्जात्मक प्रकाशिता** विकिरण प्रवाह  $\phi_e$  और उसका द्वारा समरूपता में प्रकाशिता सतह व क्षेत्रफल  $S$  के अनुपात को कहते हैं

$$I_e = \phi_e / S, \quad (5.2)$$

इसकी इकाई वाट प्रति वर्ग मीटर ( $\text{W}/\text{m}^2$ )।

**ऊर्जात्मक प्रकाशिता** विकिरण प्रवाह  $\phi_e$  और विकिरणकारी सतह के क्षेत्रफल  $S_e$  के अनुपात को कहते हैं

$$K_e = \phi_e / S_e \quad (5.3)$$

इकाई वाट प्रति वर्ग मीटर ( $\text{W}/\text{m}^2$ )।

**विकिरण-प्रवाह के प्रकाशीय लक्षक** समान तरंग-लंबाई वाले प्रवाह  $\phi$  प्रति अर्धवृत्त समान रूप से संचेदनशील नहीं होते। इनके प्रकाश में आँखें ज्यादातर  $555 \text{ nm}$  तरंग-लंबाई वाले प्रकाश से अधिक संवेदनशील होती हैं।  $555 \text{ nm}$  तरंग-लंबाई वाले विकिरण प्रवाह  $\phi_{555}$  और  $\lambda$  तरंग-लंबाई वाले विकिरण-प्रवाह  $\phi_\lambda$  के अनुपात को **आँखों की सापेक्षिक स्पेक्ट्रमी संवेदनशीलता** या **सापेक्षिक दृश्यमानता** (सापेक्षिक प्रदीपन क्षमता  $K_\lambda$ ) कहते हैं।  $K_\lambda = \phi_{555} / \phi_\lambda$ ।  $\lambda$  पर  $K_\lambda$  की तुलना  $K_{555}$  का मान  $1$  माने जायेगा।

**सापेक्षिक स्पेक्ट्रमी संवेदनशीलता का चक्र** कहते हैं। इसका चरित्र  $507 \text{ nm}$  तरंग-लंबाई वाले प्रकाश के प्रति अधिकतम होता है। दिन के प्रकाश में  $1 \text{ W}$  विकिरण-प्रवाह  $680 \text{ lm}$  (प्रदीप) उत्पन्न करता है।

च्योति-प्रवाह के अनुरूप होता है। उत्पन्न प्रकाश में  $507 \text{ nm}$  की तरंग-लंबाई वाला  $1 \text{ W}$  विकिरण प्रवाह  $745 \text{ lm}$  के अनुरूप होता है।

प्रेक्षक से दूरी की तुलना में नगण्य दैर्घिक माप वाले स्रोत को **बिन्दु स्रोत** कहते हैं।

**ज्योति-प्रवाह की प्रकाश शक्ति मापन के लिए कैडला** (cd) नामक इकाई प्रयुक्त होती है। कैडला ऐसी प्रकाश शक्ति को कहते हैं, जो प्रदीप चिरिक (दे. पृ. 231) की  $2.600000 \text{ m}^2$  सतह द्वारा  $10^{-8} \text{ W}$  प्रदीप उत्सर्जित होती है; यहाँ चिरिक का तापक्रम प्लैटिनम के त्रिज्यक तापक्रम ( $2042 \text{ K}$ ) है और दाब  $101325 \text{ Pa}$  है। कैडला की गिनती के प्रदीप की मूल इकाइयों में होती है, इस निर्धारित करने के लिए नियम बनाते हैं। मानक तैयार किया गया है।

**ज्योति-प्रवाह** बिन्दु-स्रोत की प्रकाश-शक्ति  $I$  और व्योम कोण  $\Omega$  के गुणनफल के बराबर की राशि को कहते हैं  $\phi = I\Omega$ ।

ज्योति प्रवाह को इकाई ल्यूमेन ( $\text{lm}$ ) है। ल्यूमेन एम्पेरा  $1 \text{ lm}$  प्रवाह को कहते हैं, जो  $1 \text{ cd}$  प्रकाश शक्ति के बिन्दु स्रोत द्वारा  $1 \text{ sr}$  के व्योम कोण में उत्सर्जित होता है। बिन्दु-स्रोत द्वारा उत्सर्जित कुल ज्योति प्रवाह

$$\phi = 4\pi I. \quad (5.4)$$

## सारणी 60 हवा की सापेक्षिक आर्द्रता की शीतमापीय सारणी

शुष्क बल्ब की ताप थर्मामीटर वा पठन °C	शुष्क व नम बल्ब वाले थर्मामीटरों के पठनों में अन्तर °C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	31	63	45	28	11	—	—	—	—
2	100	34	68	51	35	20	—	—	—	—
4	100	35	70	56	42	28	14	—	—	—
6	100	36	73	60	47	35	23	10	—	—
8	100	37	75	63	51	40	28	18	7	—
10	100	38	76	65	54	44	34	24	14	4
12	100	39	78	68	57	48	38	29	20	11
14	100	40	79	70	60	51	42	33	25	17
16	100	40	81	71	62	54	45	37	30	22
18	100	41	82	73	64	56	48	41	34	26
20	100	41	83	74	66	59	51	44	37	30
22	100	42	83	76	68	61	53	47	40	34
24	100	42	84	77	69	62	56	49	43	37
26	100	42	85	78	71	64	58	50	45	40
28	100	43	85	78	72	65	59	53	48	43
30	100	43	86	79	74	67	61	55	50	46

**टिप्पणी** — सापेक्षिक आर्द्रता शीतमापी (psychrometer) का सहायता से ज्ञात करते हैं। यह दो थर्मामीटरों से बना होता है, जिसमें से एक की चटाई सूखी रहती है और दूसरे की चोख कपड़े से लपेट दी जाती है। सारणी 60 की सहायता से सापेक्षिक आर्द्रता ज्ञात करने के लिए सूखे व नम थर्मामीटरों के दिए गये पठनानुसार वाले स्तम्भ व सूखे थर्मामीटर के पठन वर्धनी पंक्ति के कटान बिन्दु पर स्थित मध्यमा का खोजते हैं।

## यांत्रिक

## दोलन

## और तरंगें

## मूल अवधारणाएं और नियम

## 1. सनादी दोलन

किसी मध्यवर्ती स्थिति (जैसे स्थायी समुद्रतल की स्थिति) से किसी वस्तु को दूर-हाल रहने वाली सीमित गति (या सीमित अवस्था परिवर्तन) दोलन-गति (या सिर्फ दोलन, कहलाती है।

दोलन करत वाले ब्यूह बोलक ब्यूह कहलाते हैं। सिर्फ यांत्रिक तांत्रिक (जैसे स्थायान्तरण, वेग, त्वरण, दाब आदि) से उत्पन्न होने वाले दोलन यांत्रिक दोलन कहलाते हैं।

आवर्तों (मी.आदी) दोलन समय अवधि का कहते हैं, जिसमें परिपूर्ण दोलन का अपना प्रत्यक्ष मान भौतिक मध्यमा द्वारा समान कालान्तर पर दोहराती है। समय का सबसे छोटा अन्तराल  $T$  जिसके दोलन पर परिवर्तनशीलता का प्रत्यक्ष मान दोहराता जाता है, दोलन-काल (या दोलन का आवर्त-काल) कहलाता है।

राशि  $\nu = \frac{1}{T}$  की आवर्ती दोलनों की आवृत्ति (बारंबारता) कहते हैं। आवृत्ति  $\nu$  को हर्ट्स (Hr.) में व्यक्त करते हैं। 1 Hz ऐसे आवर्ती दोलनों की आवृत्ति है, जिसका आवर्तकाल 1s है।

सनादी दोलन किसी राशि में होने वाले ऐसे परिवर्तन को कहते हैं जिसे ग्राह्यत्व (या कोश्यावत्) नियम द्वारा निरूपित किया जा सकता है

$$u = A \sin(\omega t + \phi), \quad (3.1)$$

जहाँ  $A$  परिवर्तनशील राशि का अधिकतम मान (मापांक में) है, इस सनादी दोलनों का आयाम कहते हैं।  $\omega t + \phi$  को सनादी दोलन की प्रावस्था कहते हैं;  $\phi$  -आरंभिक प्रावस्था,  $\omega$  कोणिक या चक्रीय आवृत्ति (चक्रीय आवृत्ति  $\omega$  और दोलनों की आवृत्ति  $\nu$  निम्न सूत्र द्वारा बंध है।

$$\omega = 2\pi\nu \quad (3.2)$$

सनादी दोलन की प्रावस्था समय के दिय हुए क्षण पर इकाई आयाम वाली परिवर्तनशील राशि का मान निर्धारित करती है। प्रावस्था कोणिक इकाइयों (रेडियन या डिग्री) में व्यक्त होती है।

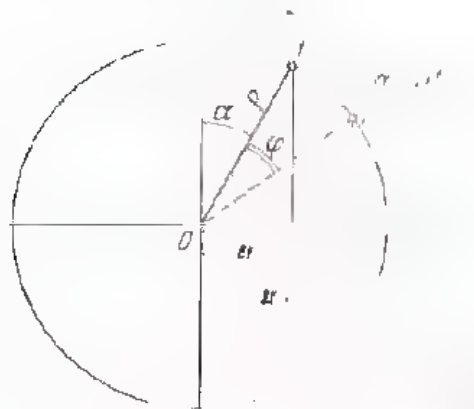
कोणिक या चक्रीय आवृत्ति रेडियन प्रति सेकेंड (rad/s) में व्यक्त की जाती है।

सनादी दोलन का एक उदाहरण है वृत्त की परिधि पर समरूप कोणिक वेग  $\omega$  में चलकरत गाली के प्रक्षेप को शीत (चित्र 25)। गाली की स्थितियों 1 व 2 के अनुरूप  $x$ -अक्ष पर उसके प्रक्षेपों के विचलन (संतुलन बिंदु 0 से प्रक्षेपों के स्थानान्तरण) है

$$u_1 = R \sin \alpha = R \sin \omega t$$

$$u_2 = R \sin (\alpha + \phi) = R \sin (\omega t + \phi).$$

समान आवृत्ति, पर भिन्न आरंभिक प्रावस्था वाले दोलन का प्रावस्थांतरित दोलन कहते हैं। प्रावस्था-अन्तर आरंभिक प्रावस्थाओं के अन्तर का कहते हैं। समान आवृत्ति वाले दो दोलनों की प्रावस्थाओं का अन्तर समग मापने के लिये आरंभिक क्षण के चयन पर निर्भर नहीं करता। उदाहरणार्थ, यदि चित्र 25 में 1 व 2 दो गोतिष्ठा की स्थितियाँ हैं, तो समय



चित्र 25. वृत्ताकार गति पर चलकरत बिंदु के प्रक्षेप।

मापने के लिये कोई भी आरंभिक क्षण चयन किया जा सकता है। यदि हम  $t = 0$  के लिये प्रावस्थांतर इमेक्षा  $\phi$  रहेगा (यदि गोतिष्ठा की आरंभिक स्थिति 1 हो)।

पिंड का सनादी दोलन उस पर प्रत्यास्थकल्प बल की कारण उत्पन्न होता है। प्रत्यास्थकल्प बल (या प्रत्यास्थप्राय बल) कहते हैं जो अपनी प्रकृति के अनुसार प्रत्यास्थी बल नहीं। संतुलन की स्थिति में पिंड के स्थानान्तरण की समानुपाती  $x$  में संतुलन की स्थिति की ओर निर्दिष्ट होता है। प्रत्यास्थकल्प  $F = -kx$  अभिव्यक्ति का रूप है

$$F = -kx$$

जहाँ  $k$  अनुप्रतिप्रकृता का गुणांक है, जिस प्रत्यास्थकल्प  $F = -kx$  है,  $x$  -स्थानान्तरण है। ऊष्ण चिह्न दिखाता है कि बल संतुलन की दिशा में विपरीत है।

किसी भी प्रकार के आवर्ती दोलन का किसी भी पदार्थ में सनादी दोलनों के योगफल के रूप में व्यक्त किया जा सकता है।

\* गोतिष्ठा के चयन पर भेदित किया जा सकता है कि कौन सा गोतिष्ठा  $t = 0$  के लिये अन्तःप्रयोग के रूप में अर्पित तथास्थित सनादी दोलनों को  $t = 0$  के लिये व्यक्त किया जा सकता है।

## 2. दोलक

भौतिक दोलक हर उस लटकाने वाले पिंड को कहते हैं, जिसमें गुरुत्व और लटकन बिंदु से नीचे हाता है। इस प्रकार से लटकाने वाले पिंड में दोलन करने की क्षमता होती है।

लटकन बिंदु (या गणितीय) दोलक कहने के यदि दोलन  $x = A \sin \omega t$  और  $x = A \cos \omega t$  एक चित्र पर सकटित माना जा सकता है। यदि  $A$  और  $\omega$  निश्चित मान  $x$  का मिल सकता है, यदि निम्न शर्तें पूरी की जा सकें। इसका लमड़नशील नहीं हो। इसके साथ ही लटकन-बिंदु पर घर्षण नगण्य हो और धागे की लंबाई की तुलना में पिंड बहुत छोटा हो। विचलन का प्रत्यक्ष हल पर गणितीय दोलक का दोलन मनादी माना जा सकता है। नीचे दिए गये सभी सूत्र ऐसे ही दोलन के लिए हैं।

गणितीय दोलक का आवर्त काल

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3.4)$$

जहाँ  $l$  — दोलक की लंबाई  $g$  — स्वतंत्र अभिप्रायन का स्वरण

स्प्रिंग में लटके वोल का दोलन संतुली माना जा सकता है, यदि दोलन का आयाम एक नियम के लागू होने की सीमा में है (दे पृ. 44) और घर्षण-बल पर्याप्त कम हैं। वोल का दोलन काल (स्प्रिंग का द्रव्यमान  $M \ll m$ ):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3.5)$$

जहाँ  $m$  — वोल का द्रव्यमान  $k$  — स्प्रिंग का कडापन; सांख्यिक रूप से यह स्प्रिंग का हवाई लंबाई अभिक लमड़ने के लिये आवश्यक बल की माप है।\*

स्प्रिंग के प्रभाव से घर्षण दोलन की गति में रत पिंड का मराडी वोलक का  $x = A \sin \omega t$  (जहाँ  $A$  लंबाई घड़ी में मुचा-चक्की)। विशेष परिस्थितियों में (जहाँ  $M$  का आयाम अत्यन्त हो और घर्षण-बल भी पर्याप्त कम हो) ऐसे दोलन माना जा सकते हैं। मराडी दोलक का दोलन काल

\* सूत्र (3.5) चिक स्प्रिंग से लटक वोल की स्थिति में होता है, बल्कि उन सभी स्थितियों में काम जाता है जहाँ सूत्र (3.3) लागू हो सकता है।

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{D}} \quad (3.6)$$

जहाँ  $l$  — लटकन-बिंदु से गुजरने वाले अक्ष के लिये पिंड का कडापन,  $D$  — मराडी कडापन, सांख्यिक रूप से यह पिंड का  $x = A \sin \omega t$  पर मराडी दन वाले घूर्णक आघर्ष की आवश्यक माप है।

भौतिक दोलक का दोलन काल

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \sin \alpha}}$$

जहाँ  $l$  — लटकन-बिंदु से गुजरने वाले अक्ष के लिये पिंड का कडापन  $\alpha$  — गुरुत्व केंद्र से इस अक्ष की दूरी  $m$  — पिंड का द्रव्यमान  $g$  — गुरुत्व अभिप्रायन का स्वरण।

राशि  $l = I/mg$  भौतिक दोलक की समानगति लंबाई है। यह गणितीय दोलक की लंबाई के बराबर होती है। जिसका दोलन काल (3.4) पर भौतिक दोलक के दोलन काल के बराबर होता है।

## 3. स्वतंत्र और बाध्य दोलन

दोलक व्यवस्था के अंदर उत्पन्न बलों के प्रभाव से होने वाले यांत्रिक दोलन स्वतंत्र दोलन कहलाते हैं। यदि पिंड के स्वतंत्र दोलन का वेग  $v$  प्रत्यास्थक बल द्वारा, तो वे मनादी होंगे

प्रत्यास्थक बल और घर्षण-बल (जो क्षणिक वेग  $v$  का समानांतर  $F_{\text{घर्ष}} = -rv$ )\* के सहप्रभाव से पिंड में होने वाले दोलन नष्ट हो जाते हैं। नष्ट दोलनों में विचलन है

$$x = A e^{-\gamma t} \sin(\omega t + \phi) \quad (3.7)$$

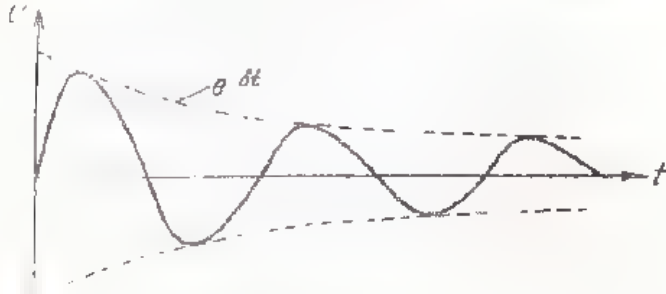
जहाँ  $A$  — आरम्भिक आयाम है,  $\gamma$  — नष्टता-गुणांक,  $\omega$  — आयाम का क्षणिक मान और  $\phi$  — चक्रीय आवृत्ति।  $e$  प्राकृतिक लघुगणक का घात है। इसके अनुरिक

$$\gamma = \frac{r}{2m} \quad (3.8)$$

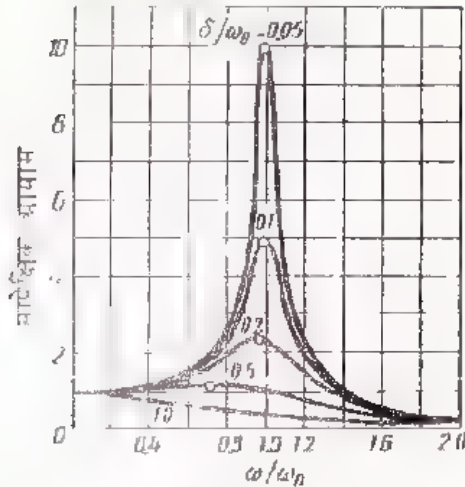
\* सूत्र में ऋण चिह्न का अर्थ है कि वेग व बल के सदियों को विपरीत दिशा में

$$\gamma = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}, \quad (3.10)$$

जहाँ  $r$ —प्रतिरोध का गुणांक,  $m$ —पिंड का द्रव्यमान;  $\omega_0^2 = k/m$ , जहाँ



चित्र 26. मरचर दानन  $x(t)$ ।



चित्र 27. भिन्न आवृत्तियों के अनुपात  $\omega/\omega_0$  अक्ष पर स्थानान्तरण के सापेक्षिक आयाम  $A/A_0$  लिये गये हैं जहाँ  $A$  स्थानान्तरण का आयाम  $F_0/k$ —स्प्रिंग के स्थानान्तरण के आयाम के बराबर वाले बल द्वारा उत्पन्न होता है। यदि  $\omega/\omega_0$ —चरित्रक आवृत्ति  $\omega_0/\omega_0$  लिये गये हैं, जहाँ  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ —घर्षण। यह चरित्रक आवृत्ति का आयाम  $\delta/\omega_0$  के भिन्न मानों के लिये है। उन्हें वृत्त स्थानान्तरण आयाम के महत्तम मानों की स्थिति दिखाते हैं।

$k$ —प्रत्यास्थकत्व बल का गुणांक, मरचर दानन चित्र 26 जैसे वक्र द्वारा दिखाये जा सकते हैं।

बाह्य आवृत्ती बल के प्रभाव से पिंड में उत्पन्न होने वाले दोलन बाह्य दोलन कहलाते हैं। जब ज्यादा बाह्य बल का आयाम मान पिंड के स्वतंत्र दोलनों के आवर्तकाल के निकट होने लगता है, तब बाह्य बल का आयाम तेजी से बढ़ने लगता है (चित्र 27)। इस संवृत्ति की अनुवाद कहते हैं।

यदि घर्षण बल बहुत बड़ा होता है (बड़ी तन्यता), तो शान्ति क्षीण रूप में व्यक्त होता है (दे चित्र 27) या विकृति ही व्यक्त होती है (उदाहरणार्थ  $\delta/\omega_0 > 1$  होने पर)।

जिस दोलक व्यूह में दोलन-काल के दरम्यान होने वाली ऊर्जा क्षति ऊर्जा के आंतरिक खोन द्वारा पूरी की जाती है, स्वदोलक व्यूह कहलाता है और उस व्यूह में स्वयं अपना पोषण करने वाला दोलन स्वदोलन कहलाता है (यसो घड़ी के पेडलम का दोलन)।

#### 4. संनादी दोलनों का संयोजन

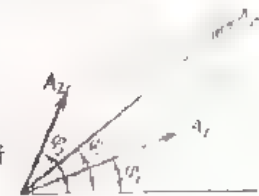
जब पिंड एक साथ दो (या अधिक) दोलन-मार्तियों में रहता है, तब समय के किसी भी क्षण पर उसका परिणामी विचलन मरचर संयोजन मरचर योग के बराबर होता है।

समान आवृत्ति व समान दिशा वाले दो संनादी दोलन

$$u_1 = A_1 \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$u_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi_2)$$

को जोड़ने पर परिणामी विचलन का आयाम  $A$  चित्र 28 में दिखाया है।



चित्र 28. समान दिशाओं वाले संनादी दोलनों में स्थानान्तरण-आयाम का संयोजन।

चतुर्भुज के नियम द्वारा ज्ञात होता है। इस परिस्थिति में परिणामी विचलन होगा



$$u = A \sin(\omega t + \phi_1), \quad (3.12)$$

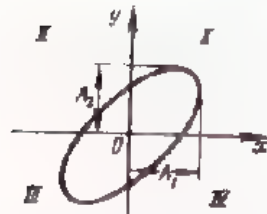
जहाँ

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\phi_2 - \phi_1)}$$

$$\tan \phi = \frac{A_1 \sin \phi_1 + A_2 \sin \phi_2}{A_1 \cos \phi_1 + A_2 \cos \phi_2}$$

जब पिछ एक साथ परस्पर लंब दिशाओं में समान आवृत्तियों वाले दो सनादी दोलन करता है, तब उसका बिचलन निम्न समीकरणों द्वारा निर्धारित होता है :

$$\left. \begin{aligned} u_x &= A_1 \sin \omega t, \\ u_y &= A_2 \sin(\omega t + \phi) \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$



चित्र 29. परस्पर लंब सनादी दोलन का संयोजन।

और पिछ की गति का पथ दीर्घवृत्त के समीकरण द्वारा निरूपित होता है (चित्र 29)।

$$\frac{u_x^2}{A_1^2} + \frac{u_y^2}{A_2^2} - \frac{2u_x u_y}{A_1 A_2} \cos \phi = \sin^2 \phi \quad (3.14)$$

$A_1 = A_2$  और  $\phi = 90^\circ$  होने पर पिछ का गतिपथ वृत्त की परिधि होती है।  $\phi = 0$  होने पर पिछ  $I$  व  $III$  चतुर्थांश में गुजरने वाली सरल रेखा पर चलता है और  $\phi = \pi$  होने पर  $II$  व  $IV$  चतुर्थांश में गुजरने वाली सरल रेखा पर।

### 5 तरंग

व्याम में दोलनों का सीमित वेग से प्रसरण तरंग कहलाता है। दोलन व तरंग में संबंध निम्न बात से किया जाता है। यदि  $L < vT$  ( $L =$  व्यूह की एक तरंग,  $v =$  क्षोभों के प्रसरण का वेग,  $T =$  दोलन का) तो व्यूह में बार-बार दुहराये जाने वाले परिवर्तन दोलन कहलाने हैं। यदि  $L > vT$ , तो ऐसे परिवर्तन तरंग कहलाते हैं। उदाहरणार्थ, छड़ के एक सिरे को ठोकने

में समकोचन (या सपीडन) की अवस्था बनती है, जो एक नियत वेग से छड़ में उसमें अनुत्तीर प्रसरण करती है।

व्योम में क्षोभों के प्रसरण का वेग तरंग का वेग कहलाता है।<sup>1</sup> यांत्रिक तरंगों का वेग माध्यम के गुणों पर निर्भर करता है और कुछ परिस्थितियों में आवृत्ति पर भी निर्भर करता है। आवृत्ति पर तरंग वेग की निर्भरता वेग-प्रकीर्णन कहलाती है।

धात्विक तरंगों के प्रसरण में माध्यम के कण अपने मूलस्थान की स्थिति के सापेक्ष दालन करते रहते हैं। माध्यम के कणों की गती वक्राकार है। दोलक वेग कहलाता है।

यदि तरंग-प्रसरण के दरम्यान माध्यम की लक्षण राशियाँ (जैसे घनत्व, कणों का स्थानांतरण, दाब आदि) व्याम के किसी भी बिंदु पर स्थानांतरण के अनुसार बदलती रहती हैं तो ऐसी तरंगों का ज्यावत (या सनादी) तरंग कहते हैं। ज्यावत तरंगों का महत्वपूर्ण लक्षण है तरंग की लंबाई का स्पष्ट दर्शन। तरंग की लंबाई  $\lambda$  उस दूरी को कहते हैं जिसे तरंग अपने आवृत्ति काल के दरम्यान तय करती है :

$$\lambda = vT \quad (3.15)$$

आवृत्ति  $\nu$  और तरंग की लंबाई  $\lambda$  निम्न संबंध रखते हैं

$$\nu = 1/\lambda \quad (3.16)$$

जहाँ  $\nu =$  तरंग का वेग।

निम्न प्रकार का गणितीय व्यंजन

$$y = A \sin \omega \left( t - \frac{r}{v} \right) = A \sin(\omega t - kr), \quad (3.17)$$

ज्यावत तरंगों के प्रसरण के दरम्यान माध्यम की अवस्था में तब तक परिवर्तन को निरूपित करता है; इसे समतली सनादी तरंगों का सापेक्षक कहते हैं<sup>2</sup>

1. क्षोभ रिक्त व्योम (व्यामिक व्योम) में नहीं उत्पन्न हो सकते हैं। (व्यंज या क्षोभ से छेके हुए व्याम) में उत्पन्न होते हैं और उसी में उनका प्रसरण सम्भव है। ऐसे भौतिक व्योम को माध्यम कहते हैं। क्षोभ से तात्पर्य है भौतिक व्याम में आवृत्ति का समुच्चय की स्थिति से विचलन जो व्याम के अन्त बिंदुओं को भी व्याम व्याम से चलता जाता है। -अनु

2. छड़ को जब इस समीकरण में कोई भी परामितिक हो सकता है जो माध्यम की अवस्था लाकृत करता है (जैसे दाब, तापक्रम आदि)।

जहाँ  $x$  और  $t$  का अर्थ है तरंग का आयाम,  $r$  —  
1. गत्यात्मक माध्यम में ध्वनि के उस बिंदु की दूरी, जिस पर माध्यम के  
किसी गुण के परिवर्तन का अध्ययन किया जा रहा है;  $p$  — तरंग का वेग  
4.  $\omega = k \lambda$  — तरंगी समस्या।  $\omega = k r$  को तरंग की श्रावस्था कहते हैं।

जिस सतह के सारे बिंदु समान श्रावस्था में स्थित रहते हैं उसे तरंगी  
सतह कहते हैं।

ध्वनि के अनुसार तरंगी सतहें समतल होती हैं (समतल तरंगी सतहें),  
गोलाकार (घूर्णनाकार तरंगी सतहें) या वर्तुल (वर्तुल तरंगी सतहें)।  
घूर्णनाकार व वर्तुल तरंगों के सर्पिकरण है।

$$u_n = \frac{1}{\sqrt{r}} \sin(\omega t - k r) \quad (3.18)$$

$$u_n = \frac{1}{r} \sin(\omega t - k r) \quad (3.19)$$

जहाँ  $u$  — तरंग का आयाम,  $r$  — दूरी,  $k$  — तरंग का आयाम का नाश्वक  
मान है।

जहाँ माध्यम के कणों का विचलन तरंग-प्रसरण की समानांतर दिशा में  
हो रहा है, तो ऐसी तरंग को अनुत्तरी कहते हैं, यदि कणों का विचलन  
तरंग प्रसरण की दिशा के अभिलंब समतल में हो रहा है, तो तरंग को  
अनुप्रस्थी कहते हैं। तरल (द्रव व गैसीय, माध्यम में यांत्रिक तरंगें अनुत्तरी  
होती हैं, ठोस पिंडों में अनुत्तरी व अनुप्रस्थी दोनों ही प्रकार की तरंगें  
संभव हैं।

छड़ में अनुत्तरी तरंगों का वेग

$$v_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3.20)$$

जहाँ  $E$  — यौग का मापांक है,  $\rho$  — घनत्व है।

ठोस पिंड में, जिसकी अनुप्रस्थी मापें प्रसरण तरंगों की लंबाई से बहुत  
बड़ी हैं, अनुत्तरी तरंग का वेग होगा

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (3.21)$$

जहाँ  $p$  — द्रव का घनत्व,  $\gamma$  — गैस का मापांक,  $\mu$  — पुआयान का गुणांक  
(दे सारणी 17)।

तरंग पत्रों में अनुत्तरी तरंगों का वेग

$$v = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho(1+\mu)}} \quad (3.22)$$

द्रव में अनुत्तरी तरंगों का वेग

$$v_2 = \frac{\gamma}{\rho \beta_2} \quad (3.23)$$

जहाँ  $\beta_2$  — समतापक्रमी संपीड्यता\*,  $\gamma = c_p/c_v$

अनुप्रस्थी तरंगों का वेग :

$$v_2 = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3.24)$$

जहाँ  $G$  — सर्पण का मापांक (दे. पृ. 47)

गैस में ध्वनि तरंगों का वेग

$$v_g = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}} \quad (3.25)$$

जहाँ  $\gamma = c_p/c_v$ ,  $p$  — दाब।

सूत्र (3.25) आदर्श गैसों पर लागू किया जा सकता है और द्रव तरंगों  
में उसे निम्न रूप दिया जा सकता है (दे. पृ. 70)

$$v_g = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}} \quad (3.26)$$

द्रव की सतह पर तरंगें तब अनुत्तरी होती हैं, न अनुप्रस्थी। सतही  
तरंगों में पानी के कणों की गति अधिक जटिल होती है (दे. चित्र 30)

सतही तरंगों का वेग\*\*

\* संपीड्यता — दे. पृ. 47 समतापक्रमी संपीड्यता स्थिर तापक्रम पर होने वाली  
संपीडन प्रक्रिया है।

\*\* सूत्र (3.27) द्रव व गैस के विभाजन तल पर उठने वाली तरंगों के लिये भी लागू  
हो सकता है, यदि द्रव का घनत्व गैस के घनत्व से बहुत अधिक होना है।

$$v_{sat} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi c}{\lambda_p}} \quad (3.27)$$

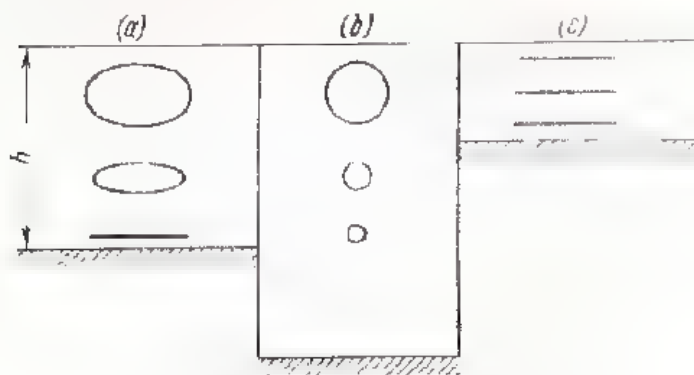
यहाँ  $g$ —स्वतंत्र अभिपतन का त्वरण  $\lambda = \lambda_p + \lambda_g$  तरंगों का ग्राहक,  $p = घनत्व$ ।

सूत्र (3.27) तभी लागू किया जा सकता है, जब द्रव की गहराई  $0.5\lambda$  से कम नहीं होती है।

यदि द्रव की गहराई  $h$  कम हो ( $0.5\lambda$  से), तो

$$v_{sat} = \sqrt{gh} \quad (3.28)$$

तरंग-प्रसरण की क्रिया में ऊर्जा का स्थानांतरण होता है पर माध्यम के कण तरंग-प्रसरण की दिशा में स्थानान्तरित नहीं होते, वे मनुष्य की स्थिति के गिर्द सिर्फ दोलन करते रहते हैं (यदि तरंगों का आयाम अत्यल्प है और माध्यम स्थान नहीं है)। तरंग द्वारा इकट्ठा समय से तरंगों गहराई के इकट्ठा क्षयफल के पार स्थानांतरित औसत ऊर्जा का माध्यक मान तरंग की तीव्रता कहलाता है। तीव्रता को  $W \text{ m}^2$  में व्यक्त करते हैं। ध्वनि तरंगों की तीव्रता ध्वनि की तीव्रता कहलाती है।



चित्र 3.1) समतली तरंगों के प्रसरण में कणों का गति

(a) कण गहरे पानी में (b) गहरे पानी में अनुप्रस्थ तरंगों का प्रसरण

(c) छिछले पानी में (अनुप्रस्थ तरंगों का प्रसरण)

याविक तरंगों के प्रसरण में माध्यम के कणों के दोलन तरंगों की दिशा में अनुप्रस्थ तरंगों के अनुसार चलते हैं, जिनके अनुसार विचलन में अनुप्रस्थ तरंगों का प्रसरण होता है।

यदि लंबीय आवृत्ति  $\omega$  वाली समतली तरंगों के प्रसरण में कणों के विचलन के आयाम का मान  $a_0$  माना है, तो दोलन की वेग के आयाम का मान होगा

$$a_0 = \omega a_0 \quad (3.29)$$

त्वरण का आयाम होगा

$$a_0 = \omega^2 a_0 \quad (3.30)$$

तीव्रता

$$I = \frac{1}{2} \rho \omega^2 a_0^2 \quad (3.31)$$

यहाँ  $\rho$ —माध्यम का घनत्व  $v$ —तरंगों की वेग।

## 6 स्थावर तरंग

स्थायी तरंग एक दमके की ओर दोड़ती दो तरंगों (एक तरंगों का आवृत्ति वाली) तरंगों की व्यतिक्रिया से बनती है।

यदि कोई समतली तरंग (आयाम के प्रत्येक बिंदु पर समान प्रसरण) तथा रखने वाली तरंग) अक्ष  $Ox$  की धन दिशा में प्रसरित होगी और दूसरी तरंग इसकी विपरीत दिशा में, तो इन तरंगों का संयोजन का रूप होगा

$$\begin{aligned} y_1 &= a_1 \cos(\omega t - kx + \phi_1) \\ y_2 &= a_2 \cos(\omega t + kx + \phi_2) \end{aligned} \quad (3.32)$$

स्थावरांतरण  $y_1$  वाली तरंग को धावी तरंग कहते हैं और  $y_2$  वाली का -परार्धित तरंग।

दिशाक मूल और काल-मूल (जिस क्षण में समय तापना शुरू करने है) का इस प्रकार चुना जा सकता है कि आरंभिक प्रावस्थाएं  $\phi_1$  व  $\phi_2$  शून्य हो जायें। इससे समीकरण (3.32) का रूप कुछ सरल हो जाएगा और परिणामी तरंग के समीकरण का रूप होगा।

$$y = y_1 + y_2 = 2a_1 \cos(kx) \cos(\omega t) \quad (3.33)$$

समझ (3.33) ही समतली स्थावर तरंगों का समीकरण है। स्थावर तरंगों का आयाम

$$I = 2a_1 \cos(kx) \quad (3.34)$$

समघ (3.34) का समघ (3.12) से प्राप्त किया जा सकता है यदि  

$$x_1 = x_2 = \dots = x_n = x_0$$

जिन बिंदुओं पर स्थावर तरंग का आयाम अधिकतम मान रखता है उन्हें **समघ** कहते हैं, ये अर्ध-तरंग  $x = m\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) से निर्धारित होते हैं। समतली स्थावर तरंग के समघ उन तलों पर बनते हैं, जिनके दिशांक अर्ध-तरंग  $x = m\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) को पूरा करते हैं।

स्थावर तरंग का आयाम जिन बिंदुओं पर शून्य होता है, उन्हें **समघ** कहते हैं; ये अर्ध-तरंग  $x = (m + \frac{1}{2})\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) से निर्धारित होते हैं। समतली स्थावर तरंग के समघ उन तलों पर बनते हैं, जिनके दिशांक अर्ध-तरंग  $x = (m + \frac{1}{2})\lambda/2$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) को सन्तुष्ट करते हैं।

समघ और समघ व्योम में एक-दूसरे के सापेक्ष चौथाई तरंग-लंबाई पर स्थानांतरित रहते हैं, समीकरण (3.33) से निष्कर्ष निकलता है कि

(a) भिन्न बिंदुओं पर दोलनों के आयाम एक जैसे नहीं होने, उनके मान 0 से  $2A_0$  के अंतराल में बदलता रहता है

(b) दो निकटतम समघों के बीच दोलनों की प्रावस्थाएँ समान होती हैं और समघ पार करत वक्त उनमें अर्ध-तरंग से  $n$  जितना परिवर्तन होता है

(c) ऊर्जा का वहन नहीं होता, अर्थात् किसी भी काट (अनुच्छेद) में औसत ऊर्जा-प्रवाह शून्य के बराबर होता है, ऊर्जा सिर्फ समघ में निकटतम समघ की ओर प्रवाहित होती है और फिर वापस हो जाती है।

यदि परावर्तित तरंग का आयाम धावी तरंग के आयाम से कम हो तो समघों पर दोलन का आयाम होगा  $(A_1 + A_2)$ , जहाँ  $A_1$  व  $A_2$  क्रमशः धावी व परावर्तित तरंगों के आयाम हैं। समघों पर दोलन का आयाम होगा  $(A_1 + A_2)$ ।

अनुपात  $(A_1 + A_2)/(A_1 - A_2)$  को स्थावर तरंग का गुणांक कहते हैं।

## 7 ध्वनि

ध्वनि ऐसी यांत्रिक तरंग का कहते हैं, जिसकी आवृत्तियाँ 17-20 से 20000 Hz की सीमा में होती हैं। आदमी का कान यांत्रिक तरंगों की इन आवृत्तियों को अनुभव करने की क्षमता रखता है। 17 Hz से नीचे की

आवृत्ति वाली ध्वनि को **अवध्वनि** कहते हैं और 20000 Hz से ऊपर वाली को **पराध्वनि** कहते हैं।

ध्वनि की अनुभूति के साथ-साथ आदमी का मन ध्वनि की **बज्जिता** (loudness), **तापता** (pitch) और **स्वरिता** (timbre) में भेद भी करता है। ध्वनि की बज्जिता दोलनों के आयाम द्वारा निर्धारित होती है। **तापता** आवृत्ति द्वारा और **स्वरिता** आवृत्तियों के (अधिक उच्च आवृत्ति वाली) दोलनों के आयाम द्वारा।

ध्वनिक तरंगों के प्रसरण के कारण माध्यम में क्षणिक दबाव तरंगों की अनुपस्थिति में जो दबाव होता है, उसकी तुलना में होने वाला दबाव परिवर्तन **ध्वनि का दबाव** कहलाता है। ध्वनि दबाव का आयाम  $\Delta p_0$  शून्यीय के आयाम  $u_0$  के साथ निम्न सूत्र द्वारा जुड़ा है

$$\Delta p_0 = \rho v u_0 \quad (3.35)$$

माध्यम में अवशोषण के कारण समतली ध्वनिक तरंगों की आवृत्ति निम्न नियम के अनुसार कम होती है -

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x} \quad (3.36)$$

जहाँ  $I_0$  माध्यम में प्रवेश करने वाली तरंगों की तीव्रता  $I_0$  तथा  $x$  पथ करने के बाद उनकी तीव्रता।

ध्वनि-तरंगों का क्षीयन-स्तर निर्धारित करने वाली राशि  $\alpha$  को **ध्वनि के अवशोषण का गुणांक** (आयाम के अनुसार) कहते हैं।

मन में ध्वनिक तीव्रता की अनुभूति बज्जिता की अनुभूति व अनुभव होती है। तीव्रता के एक नियत निम्नतम मान पर आदमी का कान ध्वनि अनुभव करने में असमर्थ रहता है। इस निम्नतम तीव्रता की अवस्था को **दहलीज** (अवसीमा) कहते हैं। निम्न आवृत्तियों वाली ध्वनियों का लिए अवसीमा की दहलीज के मान भिन्न होते हैं। बहुत अधिक तीव्रता होने पर कान में दर्द की अनुभूति होती है। दर्द की अनुभूति के लिए आवश्यक निम्नतम तीव्रता को **दर्दानुभूति की अवसीमा** (दहलीज) कहते हैं।

ध्वनि-तीव्रता का स्तर दहलीज (db) नामक इकाई में निर्धारित करते हैं। इसीबलों की सख्या तीव्रता अनुपात के दशमिक लघुगणक की दस गुनी सख्या, अर्थात्  $10 \log(I/I_0)$  है। ध्वनिकी में हमें  $I_0$  की जगह  $1 \text{ pJ/m}^2 \text{ s}$  रखते हैं। यह 1000 Hz पर अवसीमा की दहलीज के अनुरूप वाली तीव्रता के लगभग है।

### सारणी और ग्राफ

सारणी 61. शब्द द्रवों और तेलों में ध्वनि-वेग

द्रव	$t, ^\circ\text{C}$	$t, \text{m/s}$	$t, \text{m/s K}$
<b>शुद्ध द्रव</b>			
अल्कोहल सफ़ियन	20	11.50	3.0
अल्कोहल सफ़ियन	20	11.93	3.0
एसीटोन	20	10.06	4.0
एसीटोन	20	10.02	5.0
न्यू गामोन	34	12.15	—
क्लोरोफॉर्म	20	9.25	3.0
ग्लार	20	14.51	1.00
ग्लोसी सफ़ी	17	15.00-15.00	—
ग्लोसी साधारण	20	4.7	2.0
ग्लोसी	20	1.20	2.0
<b>तेल</b>			
एलम	30	7.7	—
सैमालान	34	1.50	—
ब्रतन	32.5	13.31	—
ट्रांसफॉर्मर के लिए	32.5	14.25	—
नक़् (एक झोडा)	32	13.42	—
नारो (rapeseed)	30.5	14.50	—
नवदोर (नारो)	29	4.05	—
मगफना	31.5	15.60	—
मकफिलर	30.5	1.77	—

टिप्पणी :- वायव्य अक्ष पर  $\theta$  से (पृथ्वी का कण्टार) क्षति लेग घटता है।  
अथ वायव्य पर क्षति लेग सूत्र  $I = \frac{1}{2} \pi (R^2 - R_0^2)$  से जान लिया जा सकता है,  
जिसमें  $R$  = शरणी में दिया गया वेग,  $R_0$  = वायव्य शरणी शरणी व अक्षम स्तर में  
दिया है),  $\theta$  = वायव्य, जिस पर क्षति लेग जान करना है  $R_0$  शरणी में दिया गया  
वायव्य

सामग्री 62 ठोस पदार्थों से ध्वनि-वंग (20 °C पर)

[illegible]







तरंग की लंबाई पर निर्भर करता है (चित्र 32; सूत्र 3.27) यह उम ह्रासक में, जब द्रव की गहराई पर्याप्त अधिक हो ( $h > 0.5 \lambda$ )।

चित्र 33 में समान वक्रिता के तीव्रता-वक्र दिखाये गये हैं। ऊपरी वक्र दृष्टान्त की दृष्टांश के अनुरूप है और निचला वक्र—श्रव्यता की दृष्टांश के आवृत्ति के मान लघुगुणकी पैमाने पर दिये गये हैं।

सागणी 67. भिन्न माध्यमों के विभाजक तल पर लंब रूप से आपतित ध्वनि तरंगों का परावर्तन-गुणांक (%) में)

द्रव्य	अवरोधित	वक्र	सुसंकोच्यता का तल	मादा	निकल	पारा	कोयल	जोषा
अवरोधित	0	72	74	18	24	1	21	2
वक्र	1	1	0.1	1.7	1.9	1.1	1.1	1
सुसंकोच्यता का तल	74	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
मादा	18	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
निकल	24	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
पारा	1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
कोयल	21	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
जोषा	2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1

टिप्पणी :- (1) परावर्तन-गुणांक परावर्तित व आपतित ध्वनि तरंगों की आयामों के अनुपात को कहते हैं।

(2) एक माध्यम से दूसरे में प्रवेश करने वक्र और दूसरे से पलटने पर आल वक्र ध्वनि का परावर्तन गुणांक समान होत है।

(3) एक माध्यम से दूसरे में प्रवेश करने पर ध्वनि तरंगों के अनुपात पर निर्भर करेगा

सागणी 68. हवा में ध्वनि-अवशोषण का गुणांक ( $\times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ ); 20 °C पर

आवृत्ति kHz	हवा की सापेक्ष आद्रता				
	10	20	40	60	80
1	0.13	0.06	0.03	0.01	0.05
2	0.47	0.23	0.10	0.05	0.03
4	1.27	0.62	0.38	0.24	0.14
6	1.67	1.13	0.64	0.54	0.39
8	2.26	1.41	1.45	0.96	0.61
10	2.33	1.28	2.20	1.47	1.08

टिप्पणी :- ये मान सामान्य दाब के निकटवर्ती मानों के लिये गये हैं।

सागणी 69. द्रव्यों की ध्वनि-अवशोषक क्षमता

द्रव्य	आवृत्ति, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
जल की दावार	0.024	0.025	0.032	0.041	0.049	0.0
रंगम का कपड़ा	0.1	0.04	0.1	0.17	0.24	0.1
वायु (इक्विल)	0.03	—	0.027	—	0.02	—
कॉपर ऊत	0.32	0.40	0.51	0.60	0.15	0.60
(9 cm मोटा)	—	—	—	—	—	—
नमक (25 mm मोटा)	0.18	0.36	0.71	0.79	0.32	0.81
प्लास्टर, चने का	0.025	0.045	0.06	0.085	0.04	0.15
प्लास्टर जिप्स का	0.013	0.015	0.020	0.028	0.04	0.05
रोएदार कबल	0.09	0.08	0.21	0.27	0.27	0.37
लकड़ी के तबले	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
मगसमर	0.01	—	0.01	—	0.01	—

टिप्पणी :- ध्वनि अवशोषक क्षमता ध्वनि की अवस्थापित ऊर्जा और परावर्तक माध्य पर आपतित ऊर्जा के अनुपात का कहते हैं।



मान के अनुसार कोई भी आवेश एलेक्ट्रॉन के आवेश का अपवर्त्य होता है। एलेक्ट्रॉन के आवेश का मान निम्नतम है ( $e$ ); आवेश की इस अल्पतम स्वराक का प्राथमिक आवेश कहते हैं। प्रोटॉन का आवेश परम मान (मापाक) में एलेक्ट्रॉन के आवेश के बराबर होता है।

**आवेशों की व्यतिक्रिया, वैद्युत क्षेत्र बिंदु आवेश की व्यतिक्रिया का नियम (कूलम्ब का नियम)**। जड़वी मापतंत्र में जिसके सापेक्ष आवेश स्थित हैं परस्पर व्यतिक्रिया का बल

$$F_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} \cdot r_0$$

$$\text{और} \quad F_{21} = -\frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} \quad (4.1)$$

होता है, जहाँ  $r_0$  = विज्य मदिश  $r_{12}$  का इकाई मदिश,  $F_{12}$  = आवेश  $Q_1$  के वैद्युत क्षेत्र में उसमें दूसरी  $r_{12}$  पर स्थित आवेश  $Q_2$  पर क्रियाशील बल  $r_{12}$  = आवेश  $Q_1$  से आवेश  $Q_2$  तक सीधा गया विज्य मदिश,  $\epsilon_0$  = वैद्युत स्थिरांक (निर्वात की पारवैद्युत वेधिता),  $\epsilon$  = माध्यम की आपेक्षिक पारवैद्युत वेधिता,  $\epsilon$  दिखाता है कि निर्वात की तुलना में समसंबंध असीम माध्यम बिंदु आवेशों की व्यतिक्रिया को किसना गुना कम करता है। बल  $F_{21}$  आवेश  $Q_2$  के वैद्युत क्षेत्र में स्थित आवेश  $Q_1$  पर क्रियाशील बल है, जो मान में  $F_{12}$  के बराबर होता है।  $F_{12}$  व  $F_{21}$  बलों की दिशाएँ परस्पर विपरीत हैं और उनका क्रिया रेखा आवेशों से होकर गुजरती है। गतिमान आवेशों की व्यतिक्रिया के बारे में देखें पृ. 178।

अंतर्राष्ट्रीय इकाई-प्रणाली में वैद्युत स्थिरांक

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi (10^9)} \frac{\text{फ़राड}}{\text{माटर}} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

अथवा आवेश की इकाई कूलम्ब (C) है 1C ऐसा आवेश है जिस 1A की धारा चालक के अनुप्रस्थ काट में 1s में गुजरती है (देखें पृ. 174)।

यदि व्यास में अचल वैद्युत आवेशों पर बलों की क्रिया प्रक्षिप्त होती है तो कहते हैं व्यास में वैद्युत क्षेत्र उपस्थित है।

विद्युत में आविष्ट पिंड हमेशा वैद्युत क्षेत्र में घिरे रहते हैं अचल आवेशों के क्षेत्र का विद्युत्स्थैतिक क्षेत्र कहते हैं। दिये हुए बिंदु पर वैद्युत क्षेत्र की

नीचला सांख्यिक रूप में उस क्षेत्र में बराबर होती है, जो उस बिंदु पर रखे गये इकाई धनावेश पर क्रिया करता है

$$E = \frac{F}{Q} \quad \text{और} \quad E = \frac{F'}{Q'} \quad (4.2)$$

नीचला मदिश गणि है इसकी दिशा धनावेश पर क्रियाशील बल की दिशा जैसी होती है। दो या अधिक विद्युत आवेशों के क्षेत्रों की नीचला मदिशों की भाँति संयोजित होती है (देखें सूत्र 4.3)

बिंदु-आवेश के वैद्युत क्षेत्र की नीचला (दिए गए बिंदु पर)

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot r_0$$

और

$$E_r = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (4.3)$$

जहाँ  $r$  = आवेश  $Q$  से विचाराधीन बिंदु तक सीधा गया विज्य मदिश

$r_0$  = इकाई मदिश

समसंबंध आविष्ट अचल बलों के वैद्युत क्षेत्र की नीचला

$$E_r = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (4.4)$$

जहाँ  $\sigma$  = आवेश का नवीय घनत्व, अर्थात् बल के इकाई क्षेत्र पर आवेशों का आवेश है।

समसंबंध आविष्ट बलों के वैद्युत क्षेत्र की नीचला

$$E_r = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot r_0$$

और

$$E_r = \frac{Q}{\epsilon_0 r^2} \quad (4.5)$$

जहाँ  $r$  = आवेश के क्षेत्र में विचाराधीन बिंदु तक सीधा गया विज्य मदिश

$r_0$  = इकाई मदिश

लव समसंबंध आविष्ट बलों के वैद्युत क्षेत्र की नीचला

$$E_r = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot r_0$$

412

$$E_{\text{elec}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

जहाँ  $r$  — आवेश के वैद्युतिक घनत्व अर्थात् आवेश के घनत्व

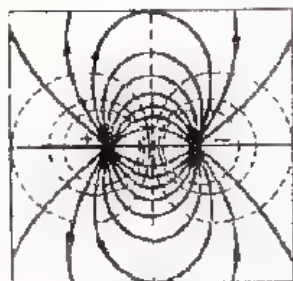
आवेश,  $r$  — आवेश के अक्ष से उसकी लम्ब दिशा में बिन्दुआवेश बिन्दु से दूरी तथा  $\epsilon_0$  — इकाई मापदण्ड

मापदण्ड राशि  $D = \epsilon_0 E$  का वैद्युत स्थानांतरण कहते हैं (पुराना नाम विद्युत प्रेरण है)

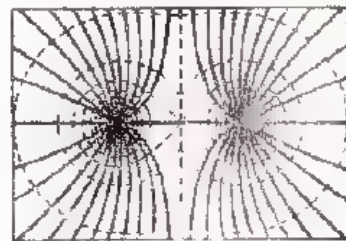
जैसा, जिसके प्रत्येक बिन्दु की दशा-रेखा तीव्रता को दर्शाती है, विद्युत क्षेत्र की दशा-रेखा कहलाती है। चित्र 34-36 में निम्न 'मजबूत' वाली बल रेखाएँ दिखायी गयी हैं।



चित्र 34. बिन्दु आवेश के वैद्युत-क्षेत्र का बल रेखाएँ।



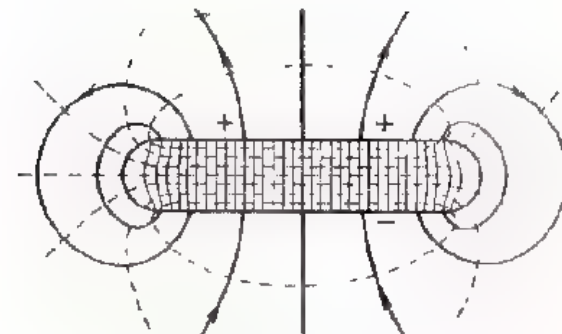
(a)



(b)

चित्र 35. बल रेखाएँ (a) विपरीत चिह्न वाले दो बिन्दु आवेशों के लिए।

(b) समान चिह्न वाले दो बिन्दु आवेशों के लिए।



चित्र 36. द्विध्रुव संयोजक का वैद्युत क्षेत्र।

**कार्य और वोल्टता** विद्युत-क्षेत्र के बलों द्वारा आवेश के स्थानांतरण का काम में कार्य सम्पन्न होता है। विद्युत-वैद्युतिक क्षेत्र में कार्य पथ को  $q$  आवेश के बल रेखाओं के बराबर माना जाता है। जिस पर आवेश स्थानांतरित होता है। वैद्युत क्षेत्र के किसी भी बिन्दु पर स्थित आवेश की अपनी स्थितिज ऊर्जा होती है।

क्षेत्र के बिन्दु पर बिन्दु पर **विभव** उस बिन्दु पर रखे गये इकाई आवेश की स्थितिज ऊर्जा के बराबर माने जाने वाली अदिष्ट राशि का कहते हैं। विभव शून्य बिन्दु वाले बिन्दु के चयन पर निर्भर करता है और इसका चयन मनमाना हो सकता है। भौतिकी में अक्सर अनन्त दूर स्थित बिन्दु के विभव को शून्य के बराबर मानते हैं। विद्युत-तकनीक में मानते हैं कि पृथ्वी और उसके विभव शून्य होता है।

विद्युत क्षेत्र के दो बिन्दुओं के विभव में अन्तर को **वोल्टता** (या **विभवान्तर**) कहते हैं। मुख्य रूप से वोल्टता कार्य के बराबर होती है, जिससे इकाई धनावेश को एक बिन्दु से दूसरे तक लाने में सम्पन्न करने है।

विद्युत-वैद्युतिक क्षेत्र में आवेश को स्थानांतरित करने में सम्पन्न कार्य ?

जहाँ  $Q$

(1)

यहाँ  $V$  वोल्टता का वोल्ट (V) में व्यक्त करने है।  $V$  मापदण्ड का बोझ का विभवान्तर है, जब 1C धनावेश को एक बिन्दु से दूसरे तक लाने में कार्य सम्पन्न करता है।

जिस तरह पर हर बिन्दु का विभव एक जैसा होता है उसे **समविभव** तल कहते हैं। चित्र 34-36 में समविभव तल दशा-रेखा द्वारा दिखाये गये हैं।

विद्युत्स्थानिक क्षेत्र में वोल्ट-रेखाएँ संविभववी तलों के साथ लंब होती हैं। संविभववी तल पर आवेश का स्थानान्तरित करने में वैद्युत बलों द्वारा संपन्न कार्य शून्य होता है।

यदि  $A$  व  $B$  क्षेत्र के दो बिंदु हैं, तो बिंदु  $A$  पर क्षेत्र की तीव्रता और दोनों बिंदुओं के बीच का विभवान्तर मन्निकट सूत्र

$$E = -\frac{\Delta U}{\Delta l}$$

द्वारा जुड़ा है। अधिक सही सूत्र है -

$$|E| = -\lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta l} = -\frac{dU}{dl} \quad (4.8)$$

जहाँ  $\Delta U$  निकटस्थ बिन्दुओं  $A$  व  $B$  के बीच विभवान्तर,  $\Delta l$ —इन बिन्दुओं में गुजरने वाले संविभववी तलों के बीच की दूरी (वोल्ट-रेखा पर)। राशि  $dU/dl$  वा विभव का तत्तन कहते हैं।

यदि विद्युत-क्षेत्र समसर्पक (एकरस) है, अर्थात् क्षेत्र के हर बिंदु पर तीव्रता मान व दिशा में स्थिर है (जैसे चपटे धारित्र में), तो  $E = U/l$  होगी, जहाँ  $l$ —वोल्ट-रेखा के खंड की लम्बाई है।

अ. प्र. में क्षेत्र की तीव्रता वास्तु प्रति मीटर ( $V/m$ ) में व्यक्त होती है।

$V/m$  ऐसे एकरस क्षेत्र की तीव्रता है जिसमें वोल्ट-रेखा के  $1\text{ m}$  लम्बे खण्ड के सिरे का विभवान्तर  $1V$  है।

**धारिता** जब दो चालकों के बीच स्थिर विद्युत-क्षेत्र की सभी वोल्ट-रेखाएँ एक चालक में शुरू होती हैं और दूसरे पर समाप्त होती हैं, तब इन चालकों को धारित्र कहते हैं और दोनों में से प्रत्येक चालक को धारित्र का पत्तर कहते हैं। साधारण धारित्र में पत्तरों पर आवेश की मात्राएँ समान होती हैं, पर उनके चिह्न विपरीत होते हैं।

धारित्र की धारिता (विद्युत-धारिता) किसी एक पत्तर के आवेश और दोनों पत्तरों के विभवान्तर का अनुपात है, अर्थात्

$$C = \frac{Q}{U} \quad (4.9)$$

विद्युत-धारिता की इकाई फराड ( $F$ ) है।  $1F$  एक धारित्र की धारिता

जिसके प्रत्येक पत्तर पर  $1C$  आवेश होना पर पत्तरों का विभवान्तर  $1V$  होता है।

चालक की सतह की आकृति के अनुसार चपटे, बेलनाकार व वर्तली (गोल) धारित्रों में भेद किया जाता है।

चपटे धारित्र की धारिता

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad (4.10)$$

है जहाँ  $S$ —किसी एक पत्तर की सतह का क्षेत्रफल (यदि पत्तरों में आवेश समान है तो छोटे वाले का),  $d$ —पत्तरों की आपसी दूरी,  $\epsilon_r$ —पत्तरों के बीच स्थित द्रव्य की पारवैद्युत धारिता।

बेलनाकार धारित्र और समाक्षीय केबिल की धारिता :

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln(b/a)} \quad (4.11)$$

जहाँ  $b$ —बाह्य बेलन की त्रिज्या  $a$ —आन्तरिक बेलन की त्रिज्या  $l$ —धारित्र की लम्बाई।

वर्तली धारित्र की धारिता :

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r ab}{a+b} \quad (4.12)$$

जहाँ  $a$  व  $b$  आन्तरिक व बाह्य वर्तलों की त्रिज्याएँ।

विजली की दुतारी लाइन की धारिता

$$C = \frac{\pi\epsilon_0\epsilon_r d}{\ln \frac{a}{r}} \quad (4.13)$$

जहाँ  $d$ —दुतारी तारों के अक्षों की आपसी दूरी,  $a$ —उनकी त्रिज्याएँ,  $r$ —लम्बाई।

$C_1, C_2, C_3 \dots C_n$  धारिता वाले धारित्रों का समान्तर क्रम में जोड़ने पर कुल धारिता

$$C_{\text{कुल}} = C_1 + C_2 + C_3 \dots C_n \quad (4.14)$$



आर शून्यत्व क्रम में जानते पर

$$\frac{1}{C_{\text{सम}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4.9)$$

आवृत्त धारिता की ऊर्जा

$$U = \frac{1}{2} C E^2 \quad (4.10)$$

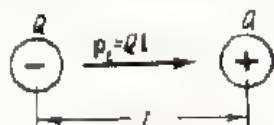
व्यास में जहाँ विद्युत-क्षेत्र होता है वहाँ ऊर्जा सम हल रहती है। इस ई आयनन में वितरित ऊर्जा की मात्रा को ऊर्जा का आयतनी घनत्व  $w$  कहते हैं। तीव्रता  $E$  वाले एकसम क्षेत्र में ऊर्जा का आयतनी घनत्व

$$w = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (4.17)$$

है, जहाँ  $E$  क्षेत्र की तीव्रता है।\*

विद्युत-क्षेत्र में चालक व पृथक्कारी विद्युत-क्षेत्र में रख गये चालक में विपरीत चिह्न के आवेश प्रेरित होते हैं। ये आवेश चालक की सतह पर इस प्रकार वितरित होते हैं कि चालक के भीतर विद्युतस्थैतिक क्षेत्र की तीव्रता शून्य होती है और चालक की सतह सविमयी तल होती है।

क्षेत्र में रखा गया पृथक्कारी (पारविद्युक) भूविन होता है ध्रुवण का अर्थ है कि अणु में उपस्थित सरञ्जनात्मक आवेश स्थानान्तरित होकर मापाक में समान, पर विपरीत चिह्न वाले दो बिन्दु आवेशों के विद्युत-क्षेत्र जैसा एक



चित्र 37. वैद्युत द्विध्रुव

क्षेत्र बना देते हैं (देखिये 35a)। विपरीत चिह्न वाले दो बिन्दु-आवेश जैसा विद्युत क्षेत्र रखने वाले आवेशों का व्यूह सामान्यतः वैद्युत द्विध्रुव कहलाता है (चित्र 37)।

\*यदि समान क्षेत्र के लिए बिन्दु पर ऊर्जा के घनत्व की अवधारणा प्रयुक्त होती है

$$w = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta W}{\Delta V}$$

एक  $\Delta V$  में एक बिन्दु पर धारण करने की पर्याप्त पर आयतन  $\Delta V$  में संचित ऊर्जा यदि  $E$  का अर्थ इसी बिन्दु में तीव्रता माना जाये तो सूत्र (4.17) समान क्षेत्र के लिए भी सही होगा।

द्विध्रुव एक सदिष्ट राशि द्वारा लक्षित होता है, जिसे द्विध्रुव का विद्युताघूर्ण ( $p_e$ ) कहते हैं और

$$p_e = Ql \quad (4.8)$$

जहाँ  $l$  आवेशों के बीच की दूरी है। सदिश  $p_e$  की दिशा द्विध्रुव के ऋणावेश में धनावेश तक खींचे गये विज्य सदिश की दिशा के साथ समान होती है।

पूरे द्विध्रुव के ध्रुवण का भून्त्याकृत सदिष्ट राशि  $P$  की सहायता से किया जाता है, जो इकाई आयतन में उपस्थित सभी विद्युताघूर्णों के सदिष्ट  $p_e$  के योगावर होता है अर्थात्

$$P = \sum p_e$$

इस राशि को ध्रुवणता कहते हैं। पारविद्युक की ध्रुवणता  $P$  और विद्युत क्षेत्र का स्थानांतरण  $D$  निम्न संबंध रखते हैं

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (4.9)$$

कुछ पारविद्युतों में जहाँ विद्युत-क्षेत्र की अनुपस्थिति में भी द्विध्रुव होते हैं। ऐसे द्रव्यों के ध्रुवण का कारण आणविक द्विध्रुवों का क्षेत्र की दिशा में उत्पन्न हो जाना है

**सेग्नेटोविद्युक** सरञ्जनात्मक शब्द सेग्नेट लवण (Seignette salt) से मिले बना है, जिसमें पहली बार स्वतःस्फूर्त ध्रुवण की संवत्ति जाना गया। सेग्नेटाविद्युक का विद्युत-क्षेत्र की अनुपस्थिति में भी क्षेत्र उत्पन्न (दर्शनीय) व्यासों से बना जा सकता है, जो अपना विद्युताघूर्ण रखे हैं। स्वतःस्फूर्त ध्रुवण के इन क्षेत्रों का प्रागण (domain) कहते हैं (देखिये भाग 3 पृष्ठ 186) क्षेत्र की अनुपस्थिति में विद्युताघूर्णों की दिशाएँ  $p_e$  होती हैं और वर्माटिण पर सेग्नेटाविद्युक का विद्युताघूर्ण शून्य के बराबर होता है। वास्तविक क्षेत्र में सेग्नेटाविद्युक कुल मिलाकर प्रागण व ध्रुवण

1 सेग्नेट लवण डाइहाइड्रॉक्सिब्यूटेनोलेनोएनोयिक एसिड (dihydroxybutane-2,3-diol-2,3-dicarboxylic acid) का एक लवण गैरिजिडस गैरिजिडस सेग्नेट

जिस रासेल लवण (Racemic salt) भी कहते हैं। स्वतःस्फूर्त ध्रुवण का गुण अम्ल लवण में भी है जैसे कोशिक (टिटलम)। इन सभी लवणों की कलावच्छा या गीरे विच्छेद कहा जाता है —अन



गणना

द्रव्य	$\epsilon$	$\Gamma_{\text{max}}$ MV/m	$\rho$ Mg/m <sup>3</sup>	$\alpha$ 1/°C
रेशम का तंतु (C)	6.0	15-20	2.5-2.6	—
ग्लास	3.5	—	1.1	—
विशाल प्लास्टिक (P)	4.1	15	—	—
सामान्य प्लास्टिक	3-4	10-15	2.7	1.5-2.0
मिल्क	4.5	—	—	—
मनवाद्य	3-4	30	—	$2 \times 10^{-10}$
स्लेट	6-7	5-14	2.6-2.9	$10^{-10}$

टिप्पणी - 1. रेशम नीयता अधिकतम अत्यंत सीढ़ी है इससे अधिक मानने वाले पर पारदर्शक अपने दिखने प्रभावकारी गुण खो देता है।

2. काष्ठ में दिखे गए वर्ण - P—प्लास्टिक, C—चुकी बिंदु R—रबर प्लास्टिक।

3. पारदर्शक वेरिग के प्रत्यक्ष मान 10-20°C के नियम हैं। ठाण पदार्थों के रंग के आधार पर वेरिग का माप बढ़ने के साथ बढ़ता है। (दे, चित्र 38)।

4. विशिष्ट प्रतिशत के बारे में देखें पृ. 144।

#### सारणी 74 शुद्ध द्रवों की पारदर्शकता

द्रव्य	तापक्रम °C						
	0	10	20	25	30	40	50
एथिल अल्कोहल	27.88	26.41	25.00	24.25	23.52	22.10	20.87
एथिल ईथर	4.80	4.58	4.33	4.27	4.15	—	—
फेनोल	23.3	22.5	21.4	20.9	20.5	19.3	18.7
कार्बन टेट्राक्लाइड	—	—	2.24	2.23	—	2.10	2.18
क्लोरोफॉर्म	—	—	2.0	—	—	—	—
ग्लिसरीन	—	—	2.0	—	—	—	—
पानी	87.83	83.86	80.08	78.23	76.47	74.00	71.75
सिलिकॉन	—	2.30	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22

टिप्पणी - 1. शुद्ध पदार्थों की पारदर्शकता के मान की अपेक्षा प्रभावित

2. देखें पृ. 144

#### सारणी 75 गैसों की पारदर्शकता (18 °C व सामान्य दाब पर)

द्रव्य	$\epsilon$	द्रव्य	$\epsilon$
ऑक्सीजन	1.00055	हवा	1.00059
कार्बन डाइऑक्साइड	1.00097	हाइड्रोजन	1.00026
जलवाष्प	1.00178	हीलियम	1.00007
नाइट्रोजन	1.00061		

टिप्पणी - गैसों की पारदर्शकता तापक्रम-वृद्धि के साथ बढ़ती है और दाब बढ़ने के साथ बढ़ती है।

#### सारणी 76 सेमेटोबिद्युत क्रिस्टलों के गुण

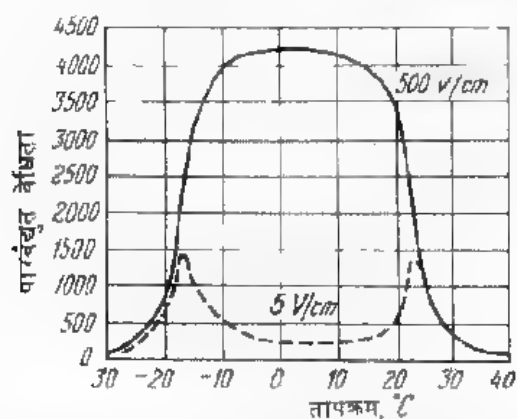
( $T_C$  वयरी बिंदु  $p_s$  गहन स्फूर्त घावण  $\epsilon$  पारदर्शकता)

क्रिस्टल	$T_C$ °K	$p_s$ nC/m <sup>2</sup>	$\epsilon$
NaKClO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	296 (ऊपरी)	2.6	1.0
मनट लवण	258 (निचला)	—	—
LiNH <sub>4</sub> (ClO <sub>4</sub> )·H <sub>2</sub> O	106	2.1	—
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	123	328	4.0
KH <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub>	95.6	—	14
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	148	—	56
LiLiO <sub>3</sub>	391	1.58	100
KNbO <sub>3</sub>	708	257	—
LiNbO <sub>3</sub>	1470	500	34

टिप्पणी - 1. कुछ समेटोबिद्युत के गुण विषय तापक्रम-वृद्धि के साथ प्रभावित होते हैं। इन स्थितियों में क्यूरी-तापक्रम के उच्चतम व निम्नतम मान दिए गए हैं।

2. पारदर्शकता के निकटवर्ती मान दिए गए हैं।

सेन्टेट लवण और बेरियम टिटानेट की पारबद्धत वेधिता



चित्र 313. रोशेल लवण के अस्थिर प्तर की पारबद्ध वेधिता की तापक्रम पर निर्भरता। दोनों वक्र क्षेत्र की भिन्न तीव्रताओं के लिए हैं।

साधनों 7. क्रिस्टलों के दाब-बंधित मोडल

क्रिस्टल	$d_1$ , pC/N	क्रिस्टल	$d_1$ , pC/N
बेरीलियम फ्लोरोट	4.8 (d <sub>36</sub> )	बेरीलियम फ्लोरोट	21 (d <sub>36</sub> )
बेरीलियम मल्फाइट	.4 (d <sub>15</sub> )	बेरीलियम टिटानेट	390 (d <sub>15</sub> )
कोरुम	2.31 (d <sub>11</sub> )	रोशेल लवण	341 (d <sub>14</sub> )
कोरुम	3.3 (d <sub>11</sub> )	कोरुम वायोडेट	63 (d <sub>15</sub> )
मॉलाइट	3.1 (d <sub>15</sub> )	कोरुम मल्फाइट	151 (d <sub>22</sub> )

नियुक्ति: कुल लवणता व मोडल विकल (समय) की दिशा में (चित्र 313) करत।  
 \* इनके अन्य साधन का महत्त्व मान दिया गया है (कथित) से साधन के लक्षण।  
 \* निकोदियम है।

\* इनके अन्य व, प्रक्रा। के लक्षण मल्फाइट, कोरुम के साधन अत्यन्त वेधित दिखते हैं, पर उसमें सीमा नहीं होता। अतः

## B स्थिर विद्युत-धारा

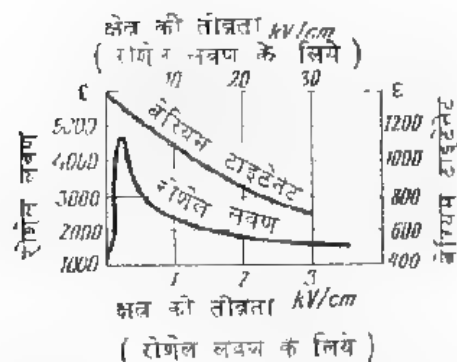
### मूल अवधारणाएँ और नियम

#### 1. धातुओं में धारा

विद्युत-धारा का बल और विद्युत्वाहक बल, आवेग-वाहक की कठिनाई या मिलमिलेदार गति विद्युत धारा कहलाती है। धातुओं में ऐसे वाहक एलेक्ट्रॉन होते हैं। यह कृष्णविद्युत कणिकाएँ हैं, जिनका आवेग आर्थात्वाहक बल पर बराबर होता है। धारा की दिशा शीतलान्तरित कृष्णवेधों की गति का दिशा। विपरीत मानी जाती है। यदि क्षेत्र  $E$  से क्षेत्र  $E + \Delta E$  समय में वाहक का अनुप्रस्थ-काट में विद्युत की मात्रा  $\Delta Q$  गुजरती है। तो सीमा

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} \quad (3.1)$$

यह धारा का बल कहलाती है।



चित्र 314. क्षेत्र की तीव्रता पर बेरियम टिटानेट और रोशेल लवण की पारबद्ध वेधिता की निर्भरता (20) (चित्र 313)



धारा-बल चालक के सिरों की तीव्रता (वोल्टता) का समानुपाती होता है, अर्थात्

$$I = \frac{U}{r} \quad (4.26)$$

इस संबंध में राशि  $1/r$  समानुपातिकता का सगुणक है और इसे चालकता कहते हैं। राशि  $r$  बंधुत प्रतिरोध कहलाती है।

अ प्र में प्रतिरोध की इकाई ओम ( $\Omega$ ) है।  $1 \Omega$  ऐसे चालक का प्रतिरोध है, जिसके सिरों पर तीव्रता  $1 \text{ V}$  होने पर उसमें  $1 \text{ A}$  की धारा निश्चित हो जाती है।

स्थिर अनुप्रस्थ काट वाले चालक का प्रतिरोध :

$$r = \rho \frac{l}{S}, \quad (4.27)$$

जहाँ  $\rho$  = विशिष्ट प्रतिरोध या प्रतिरोधिता (इकाई अनुप्रस्थ काट वाले चालक की इकाई लंबाई में विद्युत-प्रतिरोध),  $l$  = चालक की लंबाई,  $S$  = अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल।  $\rho$  को ओम-मीटर ( $\Omega \text{ m}$ ) में व्यक्त करते हैं। राशि  $\sigma = 1/\rho$  विशिष्ट चालकता कहलाती है। तापक्रम बढ़ाने पर अधिकतर धातुओं का विशिष्ट प्रतिरोध और भी अधिक हो जाता है। प्रतिरोध में इस प्रकार का परिवर्तन मत्निकट रूप से निम्न संबंध द्वारा निरूपित हो सकता है

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad (4.28)$$

जहाँ  $\rho_t$  = तापक्रम  $t$  पर विशिष्ट प्रतिरोध,  $\rho_0 = 0^\circ \text{C}$  पर विशिष्ट प्रतिरोध,  $\alpha$  = प्रतिरोध का तापक्रमी गुणांक (जो चालक को  $1^\circ \text{C}$  अधिक गर्म करने पर प्रतिरोध में होने वाले परिवर्तन में आरम्भिक प्रतिरोध से भाग देने पर प्राप्त सांख्यिक मान के बराबर होता है)। विशेष रूप तापक्रम पर कुछ चालकों का विशिष्ट प्रतिरोध छानों में मारता हुआ घटने लगता है और शून्य के बराबर हो जाता है। इस मवृत्ति को अतिचालकता कहते हैं।

प्रतिरोधों को श्रृंखला क्रम में जोड़ने पर कुल प्रतिरोध

$$R_{\text{ser}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (4.29)$$

होता है और समान्तर क्रम में जोड़ने पर

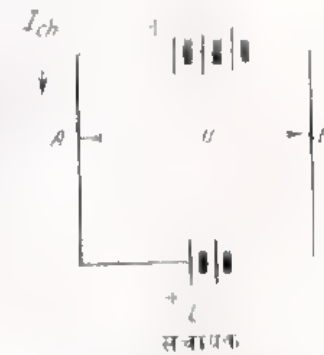
$$\frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4.30)$$

होता है।

परिपथ के जिस भाग में विवाह क्रियाशील होता है उसके लिए ओम के नियम का रूप है

$$I = \frac{U}{R}, \quad (4.31)$$

जहाँ  $R$  = विचाराधीन भाग का प्रतिरोध,  $U$  = इस भाग की तीव्रता (वोल्टता),  $I$  = विद्यवाहक बल,  $I$  = धारा बल। ध्यान दें कि इस सूत्र में  $U$  व  $I$  का चिह्न धन या ऋण में कोई भी हो सकता है। विवाह धनात्मक माना जाता है, जब वह विभव की धारा (1) दिशा में बढ़ता है (धारा बल के ऋण में  $U$  की ओर बढ़ती है)। तीव्रता (वोल्टता) को धनात्मक नब मानते हैं, जब आवृत्ति के भीतर धारा विभव-हाम की दिशा में बढ़ती है (धन से ऋण की ओर)। उदाहरणार्थ, संचायक को आविष्ट करने वकत (चित्र 41) आवेशक धारा



चित्र 41 संचायक का आविष्ट

$$I_0 = \frac{U - U_0}{R_{\text{ser}}} \quad (4.32)$$

होगी, जहाँ  $U$  = आविष्ट करने वकत स्रोत के सिस्स्थो पर तीव्रता,  $U_0$  = संचायक का विवाह,  $R_{\text{ser}}$  = संचायक का प्रतिरोध (या एक बार के प्रतिरोध उपेक्षित है)। इसी स्थिति में भाग  $A DB$  के लिए

$$I = \frac{U_0 - U}{R_{\text{an}}} \quad (4.33)$$

जहाँ  $U_0$  = स्रोत का विवाह,  $R_{\text{an}}$  = स्रोत का आन्तरिक प्रतिरोध।

सर्वत अवशाखित परिपथ में (इस स्थिति में  $U = 0$ ) संचायक का निम्न रूप में लिखा जाता है :

$$I = \frac{U_0}{R + R_{\text{an}}} \quad (4.34)$$

जहाँ  $R$  = परिपथ का बाह्य प्रतिरोध है।



**विद्युत-धारा का कार्य** परिपथ के किसी खंड में स्थिर धारा द्वारा संपन्न कार्य

$$A = IUt, \quad (4.35)$$

जहाँ  $t$  = धारा बहने का समय  $U$  = विचाराधीन खंड पर तीव्रता,  $I$  = धारा-बल

यदि खंड पर विवाह अनुपस्थित है, तो चालक की आंतरिक ऊर्जा परिवर्तन (ताप विमर्जन) से संबंधित कार्य, जिसे धारा संपन्न करती है

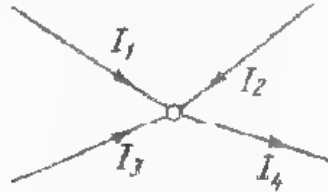
$$A = \frac{U^2}{R} t. \quad (4.36)$$

आंतरिक ऊर्जा में परिवर्तन से संबंधित कार्य (खंड पर विवाह उपस्थित हो या अनुपस्थित, दोनों ही हालतों में)

$$A = I^2 R t. \quad (4.37)$$

अ. प्र. में कार्य (और ऊर्जा की भी, इकाई जूल (J) है; 1 V तीव्रता वाले खंड में 1 A की स्थिर धारा द्वारा 1 s में संपन्न कार्य का 1 J मानते हैं

**किर्खहोफ के नियम.** विशालित परिपथ के लिए धारा, तीव्रता व विवाह का कलन किर्खहोफ के नियमों के आधार पर होता है।



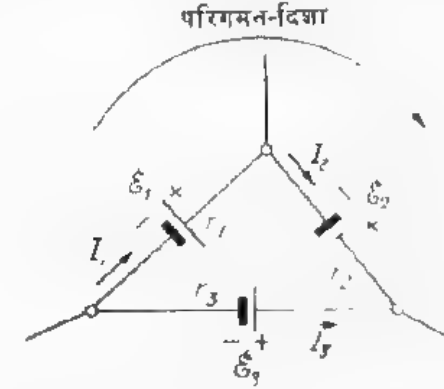
चित्र 42. धाराओं का गणन (संकेत)।

**प्रथम नियम** किसी विशालित-बिंदु पर समस्त परिपथ खंडों में धारा-बलों का बीजगणितीय योग शून्य के बराबर होता है। उदाहरणार्थ (चित्र 42 में) :

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0. \quad (4.38)$$

**दूसरा नियम :** विशालित परिपथ के किसी संवृत आकृति में धारा-बलों व उनके तदनु रूप प्रतिरोधों के गुणनफल का बीजगणितीय योग आकृति के सभी विवाह के बीजगणितीय योग के बराबर होता है।

उपरोक्त योग ज्ञात करते वक्त उन धाराओं का धनात्मक मानना चाहिए, जिनकी दिशाएँ आकृति का चक्कर लगाने के लिए औपचारिकतः चुनी गयी दिशा के साथ संपात करती हैं। धनात्मक उन विवाह को मानते हैं, जो



चित्र 43. बहिर्मुखी परिपथ में धारा की लकी एक आकृति।

विभव की आकृति का चक्कर लगाने की दिशा में ऊँचा करने है (अर्थात् चक्कर लगाने की दिशा छोट के धन ध्रुव से ऋण ध्रुव की दिशा व मान संपात करती है)। उदाहरण के लिये (चित्र 43 में)

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 = E_1 + E_2 - E_3. \quad (4.39)$$

समान ताता की शृंखल कम में जावने पर

$$I(nR_1 + R) = nE. \quad (4.40)$$

जहाँ  $n$  = खानों की संख्या  $R$  = किसी एक खान का आंतरिक प्रतिरोध,  $R$  = बाह्य प्रतिरोध,  $E$  = एक खान का विवाह।

समान तरह के  $n$  खानों को समानरूप कम में जोड़ने पर

$$I \left( R + \frac{R_1}{n} \right) = E. \quad (4.41)$$

## 2 विद्युद्विलेखों में धारा

**विद्युद्विलेखक चालक** (या सिर्फ **विद्युद्विलेखक**) जब (या अन्य धातुओं) में अम्लों, प्रयोगों व लवणों के घावों को कहते हैं। पिछले दृष्टि लवणों में भी विद्युत चालन का गुण होता है। विद्युद्विलेखकों में आवेशों का

बहन आयन करते हैं। आयन धनाविष्ट या ऋणविष्ट अणु-खंड (परमाणुओं मूलों या स्वयं अणुओं) को कहते हैं।

विद्युविश्लेषक में विद्युत क्षेत्र उसमें डूबे हुए धारा-वाही पत्तरो के बीच उत्पन्न होता है, इन पत्तरो का विद्युद (एलक्ट्रोड) कहते हैं। विद्युद विवाचन के ध्रुवों से जुड़े होते हैं। धन ध्रुव से जुड़ा हुआ विद्युद ऊँचद (एनोड) कहलाता है और ऋण ध्रुव से जुड़ा हुआ — नीचद (कैथोड)। विद्युत क्षेत्र में नीचद की ओर स्थानांतरित होने वाले धनात्मक आयन नीचायन (कैटायन) कहलाते हैं, उच्चद की ओर स्थानांतरित होने वाले ऋणात्मक आयन ऊँचायन (ऐनायन) कहलाते हैं।

दोनों चिह्नों वाले आयनों से उत्पन्न धारा का घनत्व :

$$i = n_+ q_+ \langle v_+ \rangle + n_- q_- \langle v_- \rangle, \quad (4.42)$$

जहाँ  $n_+ \langle v_+ \rangle$  — नीचायनों की सांद्रता, और उनकी क्रमबद्ध गति का औसत वेग,  $q_+$  — एक नीचायन का आवेश;  $n_- \langle v_- \rangle$  — ऊँचायनों की सांद्रता, और उनकी क्रमबद्ध गति का औसत वेग,  $q_-$  — एक ऊँचायन का आवेश।

आयनों की चंचलता सांख्यिक रूप में क्रमबद्ध गति के औसत वेग के बराबर होती है, जिसे आयन इकाई तीव्रता वाले क्षेत्र में प्राप्त करता है,  $u_+ = \langle v_+ \rangle E$  व  $u_- = \langle v_- \rangle E$

आयनों की चंचलता  $u_+$  व  $u_-$  द्वारा धारा के घनत्व को व्यक्त करने पर

$$i = (n_+ u_+ q_+ + n_- u_- q_-) E, \quad (4.43)$$

जहाँ  $E$  विद्युत-क्षेत्र की तीव्रता ओम का नियम विद्युविश्लेषक के लिए भी सत्य है।

विद्युविश्लेषको (या पिघले हुए खवणों) से होकर धारा के गुजरने पर उनकी रसायनिक संरचना बदल जाती है और विभिन्न उत्पाद अलग हो कर विद्युदों पर जमा हो जाते हैं। इसी सृष्टि को विद्युविश्लेषण कहते हैं।

फैराडे का प्रथम नियम विद्युविश्लेषण में विद्युद पर पृथक्कृत पदार्थ का द्रव्यमान विद्युविश्लेषक से गुजरने वाले विद्युत की मात्रा  $Q$  का समानुपाती होता है।

$$m = kQ \quad (4.44)$$

समानुपातिकता का संगुणक  $k$  सांख्यिक रूप में इकाई मात्रा विद्युत के गुजरने

पर पृथक् होने वाले पदार्थ के द्रव्यमान के बराबर होता है। इस संगुणक को दिये हुए पदार्थ का विद्युरसायनिक तुल्यांक कहते हैं।

फैराडे का दूसरा नियम, दिये हुए पदार्थ का विद्युरसायनिक तुल्यांक उसके रसायनिक तुल्यांक  $\mu/n$  का समानुपाती होता।

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n}; \quad (4.45)$$

रसायनिक तुल्यांक द्रव्यमान की एक सैरप्रणालिक इकाई है, जो दिये हुए पदार्थ के मोलीय द्रव्यमान  $\mu$  और उसकी समुच्चयता  $n$  के अनुपात के बराबर होती है। स्थिरांक  $F$  को फैराडे संख्या (या फैराडे स्थिरांक) कहते हैं  $F = 96500 \text{ C/mole}$  जब किसी भी द्रव्यमान  $\mu$  को संख्या  $n$  बराबर आवेश गुजरता है, तब संयुक्त  $\mu/n$  पदार्थ का  $\mu/n$  द्रव्यमान पृथक् होता है।

गैल्वेनोस सेल विद्युविश्लेषक में डूबे हुए विद्युदों और या तो न बोल जाने विभवान्तर स्थापित हो जाता है, जिसे दिये हुए घोल में दिये हुए विद्युत का विद्युरसायनिक विभव कहते हैं।

आयनों की मानक सांद्रता वाले घोलों में धातुओं के विद्युरसायनिक विभव के मानों को मानक विभव कहते हैं। ऐसी सांद्रता हान पर विश्व रसायनिक विभव सिर्फ धातुओं के प्रकार पर निर्भर करता है। मानक विभव हाइड्रोजन-विद्युद के सापेक्ष निर्धारित किया जाता है। हाइड्रोजन विश्व पोटेंटियम का हाइड्रोजन से समुत्पन्न पत्तर होता है, जो आयनों की  $2 \times 10^{-4} \text{ M}$  सांद्रता वाले गंधकाम्ल के जलीय घोल में आंशिक तौर पर डूबा रहता है।

विद्युविश्लेषक में दो विद्युदों को डुबाने पर उनके बीच विभवान्तर स्थापित होता है, जो विद्युदों के मानक विद्युरसायनिक विभवों के अंतर के बराबर होता है। ऐसा विद्युविश्लेषक, जिसमें दो भिन्न प्रकार के विद्युद डूबे होते हैं गैल्वेनिक सेल कहलाता है (जैसे बोट की बैटरी या गंधकाम्ल के जलीय घोल में तांबे और जस्ता के पत्तरो को डुबाने में बनाया है)।

सहायक भी गैल्वेनिक सेल ही होते हैं, जिसके विद्युद ऐसे धातुओं में बनाये जाते हैं, जो अपने आरंभिक गुण पुन प्राप्त कर लेते हैं, इसके लिए सेल में जमे काम नाते वस्तु उसमें बहने वाली धारा की विपरीत दिशा में विद्युत-धारा प्रवाहित करनी पड़ती है। सेल को काम नाते वस्तु उसमें बहने वाली धारा निरावणक धारा कहलाती है और उसकी विपरीत दिशा में



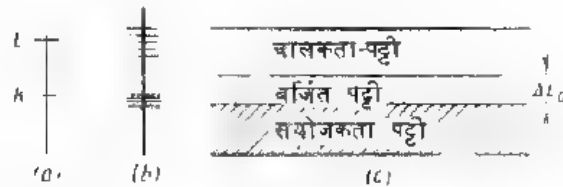
किसी विशेष चालकता पर तब तक दो वाली एलेक्ट्रोडों की आपसी दूरी का स्फुलिंगाकाश कहते हैं। स्फुलिंगाकाश के आधार पर विद्युदों के बीच चालकता का मान निर्धारित किया जा सकता है।

#### 4 अर्धचालक

अर्धचालक ऐसे पदार्थों का कहते हैं जिनमें विद्युच्चालकता एलेक्ट्रोनों की गति के कारण होती है और विशिष्ट प्रतिरोध कमरे के तापक्रम पर  $10^{-2} - 10^9 \Omega \text{ cm}$  के अंतराल में होता है। तापक्रम में परिवर्तन होने पर अर्धचालक का विशिष्ट प्रतिरोध बहुत तेजी से बदलता है। धातुओं की तरह अर्धचालकों का प्रतिरोध तापक्रम ऊँचा होने पर बढ़ता नहीं बल्कि घटता है। वह अर्धचालकों में उपस्थित अशुद्धियों पर भी बहुत निर्भर करता है।

परमाणु में स्थित एलेक्ट्रॉन विविक्त (अलग-अलग) ऊर्जास्तरों (दे पृ. 248) पर होते हैं, हर एलेक्ट्रॉन ऊर्जा का एक निश्चित मान लिए होता है ता हमारे एलेक्ट्रॉनों की ऊर्जा से भिन्न होता है। पृथक्छन्न परमाणु में दो से अधिक एलेक्ट्रॉन समान ऊर्जा-स्तर पर नहीं रह सकते, पर वे भी रिपन की दिशा (दे पृ. 249) के अनुसार एक-दूसरे में भिन्न होंगे।

किसी पदार्थ के पृथक्छन्न परमाणुओं में परस्पर अनुरूप ऊर्जा-स्तर समान होने व्यक्तिविद्या (पारस्परिक क्रिया) के कारण हर परमाणु के ऊर्जा-स्तर थोड़ा सा बदल जाया करते हैं (यदि उनकी तुलना पृथक्छन्न परमाणुओं के ऊर्जा-स्तरों से की जाय)। व्याप्तिकारी परमाणुओं के ऊर्जा-स्तर परस्पर भिन्न होंगे।



चित्र 44 अर्धचालक में ऊर्जा-स्तर

सादृश्य के लिए चित्र 44a में पृथक्छन्न (व्यक्तिविद्या) में भाग नहीं लेंगे ता तापमान  $T$  की ऊर्जा के  $kT$  के  $L$  स्तर दिखाय गया है,  $n$  परमाणुओं

की व्यक्तिविद्या की अवस्था में पृथक्छन्न  $n$  भिन्न स्तरों में "विघटित" हो जाता है (चित्र 44b, c)। विद्युत स्तरों की ऊर्जा से करीब  $10^{-22}$  से  $10^{-23} \text{ eV}$  का अंतर होता है। ऊर्जा का निम्न स्तर मिल-जुल कर ऊर्जा-स्तर की एक अनुमत पट्टी बनाते हैं। ये विद्युत स्तरों में विजित मानों के अंतरालों द्वारा पृथक्छन्न हैं। इस अंतरालों का विजित पट्टियों का नाम दिया गया है। एलेक्ट्रॉन ऐसा कोई ऊर्जा-स्तर नहीं रख सकते जो विजित पट्टियों में आता है।

धातुओं के समान ही, अर्धचालकों की विद्युच्चालकता का कारण भी वे संयोजी एलेक्ट्रॉन होते हैं, क्योंकि आंतरिक अशुद्धियों के कारण वे पृथक्छन्न में जुड़ रहे हैं  $0 \text{ K}$  पर संयोजी एलेक्ट्रॉन निम्न स्तरों में रहते हैं। इस पट्टी का कोई भी अनुमत स्तर खाली नहीं होता, जो विजित पट्टी (या संयुज्यता-) पट्टी कहते हैं।  $10 \text{ K}$  पर अनुमत ऊर्जा-स्तरों का अंतर  $kT$  में एक भी एलेक्ट्रॉन नहीं होता। इस चालकता-पट्टी कहते हैं। पट्टी पट्टी में चालकता पट्टी एक-दूसरे में विजित पट्टी द्वारा पृथक्छन्न होती है (चित्र 44c)। अगर पट्टी में चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉन के जाने के लिए आवश्यक ऊर्जा  $\Delta E_0$  को विजित पट्टी की चौड़ाई कहते हैं। धातुओं में पारगम्यता  $\sigma$  विद्युत एक-दूसरे को अलग-ठके होती है; पारविद्युतों में  $\Delta E_0 > 10 \text{ eV}$ ।

विद्युच्चालकता का कारण चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों की संख्या है। चालकता-पट्टी में एलेक्ट्रॉन नहीं हैं तो विद्युच्चालकता भी नहीं आती।

तापीय गति (अन्य कामों के अतिरिक्त) एलेक्ट्रॉनों का तापमान  $T$  में सक्रमण उपलब्ध कराती है। चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों की संख्या  $n$  एक द्वारा निर्धारित होती है

$$n = n_0 e^{-\Delta E_0 / 2kT} \quad (148)$$

जहाँ  $n_0$  स्थिरांक,  $k$  चालकता का स्थिरांक  $T$ —परमाणु तापमान।

विशिष्ट विद्युच्चालकता

$$\sigma = n e^2 \tau / m (kT) \quad (149)$$

चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों के सक्रमण के बाद संयुज्यता पट्टी में रिक्त स्थान रह जाते हैं, बाह्य विद्युत क्षेत्र की उपस्थिति में ये रिक्त स्थानों ही पट्टियों में स्थानान्तरित हो रहे हैं। चालकता पट्टी में एलेक्ट्रॉनों के स्थानान्तरण को चालकता एलेक्ट्रॉनों चालकता या  $n$ -रूपी चालकता कहलाती है।  $n$  वर्ण जब  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  से लिया गया है। संयुज्यता-पट्टी में एलेक्ट्रॉनों के

स्थानांतरण से उत्पन्न चालकता छिद्रिल चालकता या  $p$ -रूपी चालकता कहलाती है ( $p$  शब्द positive का प्रथम वर्ण है)। पूरित पट्टी में एलेक्ट्रॉन के स्थानांतरण को एलेक्ट्रॉन की गति की विपरीत दिशा में धनावेश का स्थानांतरण माना जा सकता है। ऐसे धनावेश को औपचारिकत छिद्र कहते हैं। समान सख्या में एलेक्ट्रॉनों व छिद्रों (जो एलेक्ट्रॉनों के समतुल्य-पट्टी में चाल्यता पट्टी में सक्रमण से बनते हैं) की गति से उत्पन्न चालकता का निजी (या आंतरिक) चालकता कहते हैं। निजी चालकता संयुज्यता-बन्धों में विघन के कारण उत्पन्न होती है।

परमपट्टी चालकता वाले अर्धचालक को  $n$  रूपी अर्धचालक कहते हैं और छिद्रिल चालकता वाले को  $p$ -रूपी अर्धचालक।

अर्धचालक के व्यावहारिक उपयोग में अशुद्धिजनित चालकता का अधिकतम महत्त्व दिया जाता है। यह अर्धचालकों में उपस्थित अशुद्धियों के कारण उत्पन्न होती है। अशुद्धियाँ दो प्रकार की होती हैं। दाता और ग्राही। दाता अशुद्धियाँ ऊर्जा के अतिरिक्त अनुमत स्तरों को भी वर्जित पट्टी की ऊपरी सीमा के पास जन्म देती हैं। ऐसी अशुद्धियाँ के परमाणु एलेक्ट्रॉनों को चाल्यता-पट्टी में पहुँचा देते हैं; अशुद्धिजनित एलेक्ट्रॉनी चालकता इसी के कारण उत्पन्न होती है। ग्राही अशुद्धियाँ अतिरिक्त स्तरों को वर्जित पट्टी की निचली सीमा के पास जन्म देती हैं; इनके परमाणु एलेक्ट्रॉनों को संयुज्यता-पट्टी में अपन स्तर पर ग्रहण कर लेते हैं, जिसके फलस्वरूप अशुद्धिजनित छिद्रिल चालकता उत्पन्न होती है।

जर्मनियम में उपस्थित आर्सेन प्रणाली के V-ग्रुप के तत्व (जैसे एंटीमोन) दाता अशुद्धियों के उदाहरण हैं और III-ग्रुप के तत्व (जैसे गैलियम) ग्राही अशुद्धियों के उदाहरण हैं। ऐसी अशुद्धिजनित चालकता भी संभव है जब अर्धचालक में दाता और ग्राही दोनों ही प्रकार की अशुद्धियाँ मिली रहती हैं। ध्यान देने योग्य बात है कि एलेक्ट्रॉन और छिद्र, दोनों ही, हर प्रकार के अर्धचालक में हमेशा ही उपस्थित रहते हैं, पर उनकी असमान सांद्रता या चालकता के कारण बिजुच्चालकता में उनका योगदान असमान रह सकता है।

### 5. ताप विद्युत

यदि दो असमान चालकों में बने संवृत परिपथ में चालकों के संधि-स्थानों का भिन्न तापक्रमों पर रखा जाये, तो वेम परिपथ में धारा बहने लगेगी।

धारा का पोषण संधि-स्थलों पर उत्पन्न विवाह द्वारा होता है। इन परिस्थितियों में उत्पन्न विवाह को तापीय विद्युत्वाहक बल (ता. विवाह) कहते हैं और इस सर्पुत का ताप-विद्युत (या तापीय विद्युत) कहते हैं।

तापक्रम के कुछ अंतरालों में ता. विवाह तापक्रमों में अंतर का समानुपाती होता है। इस स्थिति में ता. विवाह  $\mathcal{E}_1 = \alpha(T_1 - T_2)$  होता है। यदि  $\alpha$  को अंतराभ्यो ता. विवाह (या ता. विवाह का समुणक) कहते हैं, सार्थक रूप में यह तापक्रमों में  $1^\circ\text{C}$  के अंतर में उत्पन्न ता. विवाह  $\alpha$  बराबर होती है।

### सारणी और ग्राफ

#### पाथिव वातावरण में विद्युत धारा

पाथिव विद्युत क्षेत्र (दे सारणी 72) के प्रभाव से वातावरण में आपत धारा, अर्थात् चालकता धारा उत्पन्न हो जाती है, जिसकी दिशा जलवायु क्षेत्र की ओर होती है। इस धारा का घनत्व ऊँचाई के अनुसार  $n = 10^{-11}$  से  $10^{-10}$  एम्पियर/से.मी. के बीच होता है। समुद्र के सतह पर औसत "सफ़े" मौसम वाले क्षेत्र में  $2-3 \times 10^{-10}$  A/cm<sup>2</sup> बराबर होता है। विपरीत दिशा वाली धाराएँ तड़ित सक्रिय क्षेत्रों में उत्पन्न होती हैं।

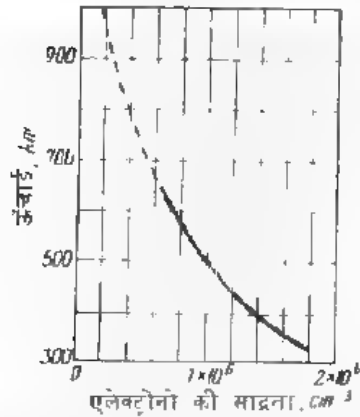
जलमंडल (hydrosphere) में धारा का घनत्व  $1 \mu\text{A/cm}^2$  होता है।

वर्षों की बंदों और आकाश से गिरने वाले ओले और वर्ष के फाल में परिपथ आवेशों की गति से उत्पन्न धारा का घनत्व : फाल वर्षों में  $10^{-11}-10^{-10}$  A/cm<sup>2</sup> ओले पड़ने व बिजली के साथ वर्षों में  $10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup> तक।

तड़ित (आकाशी) विद्युत में धारा का बल 0.5 MA तक होता है, पर अधिकांश स्थितियों में 20 से 40 KA तक होता है।

तड़ित विद्युत की तीव्रता (वान्टता)  $10^9$  V तक पहुँच जाती है। तड़ित का जीवन काल करीब 1ms है, उसकी लंबाई लगभग 10 km होती है और सर मार्ग की मूटाई 20 cm तक होती है।

## वातावरण में एलेक्ट्रॉनों की सांद्रता



चित्र 4.1. वातावरण में ऊर्जा के साथ साथ एलेक्ट्रॉनों का सांद्रता में परिवर्तन। कुलित ऊष्मता व चार्जों में भी गये साथ पर आधारित, रेखा द्वारा अनुमान मान दिखाता है।

सारणी 78. धातुओं का विशिष्ट प्रतिरोध और प्रतिरोध का तापक्रमी गुणांक (20 °C पर)

धातु	$\rho \cdot 10^{-8} \Omega \text{ cm}$	$\alpha \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
अनुमीनियम	1.3	4.9
कॉपर (फॉस्फोर-युक्त)	8.0	4.0
कॉमिथम	2.7	
चांस	1.6	3.6
जस्ता	5.9	3.9
टिन	5.0	4.2
न्यूमेटन	3.2	4.5
रेड लेड	13.7	
निकल	10.9	5.0
तांबा	1.73	3.9
चांस	9.54	0.9
पोलन	2.56	2.7
मोनिटोनम	1.7	3.3
जस्ता	5.9	6.2
सांस	22.1	4.1

नियुक्ति — सारणी में सारणी के औसत मान दिए गए हैं। वास्तविक मान समय और शर्तों के अनुसार आदि पर निर्भर करते हैं।

धातु धातु के प्रतिरोध का तापक्रमी गुणांक  $1/273 \text{ K}^{-1} = 0.0037 \text{ K}^{-1}$  के समान है।

सारणी 79. धातुओं और मिश्र धातुओं के अतिचालक की अवस्था में संक्रमण के लिए आवश्यक तापक्रम

द्रव्य	$T, \text{ K}$	द्रव्य	$T, \text{ K}$
अनुमीनियम	1	कॉपर	4.4
कैडमियम	0.5	न्यूमेटनम	9.2
जस्ता	0.8	चांस	4.1
निक्रोमियम	0.3	सांस	2.3
टिन	3.7		

## मिश्र धातु

Bi-Pt	0.16	Sn-Hg	4.0
Pb-Au	2.0-7.3	Pb-Ag	5.0
Sn-Zn	3.7	Pb-Sb	6.0
Pb-Hg	4.1-7.3	Pb-Ca	0

## बौलिक

NbBi	4.2	Nb <sub>2</sub> C	9.9
PbSe	5.0	NbC	0.14
NbBi <sub>2</sub>	5.5	NbN	0.1
NbB	6	V <sub>3</sub> Si	17
MoC	7.6-8.3	Nb <sub>3</sub> Sn	2

नियुक्ति :—1 अतिचालक मिश्र धातु अधिक अवस्था वाले भी अलग हैं। जस्ता का मिश्र धातु (8.5 K) न्यूमेटन का धातु (8.5 K) जस्ता का धातु 8 K Pb As Bi (4.0 K) Pb As Bi Sb (4.0 K)

2 अतिचालकता की अवस्था में संक्रमण करने पर बौलिक व मिश्र धातुओं का प्रतिरोध तापक्रम के पदान्तर बड़े अंतरालों पर बढ़ता है (क्यों कि 2 K के अंतराल पर)। संक्रमण का तापक्रम मिश्र धातुओं के तापमान पर भी निर्भर करता है। ऐसी परिस्थितियों के लिये सारणी में संक्रमण के तापक्रम से परिवर्तन की सीमा दी गयी है।





सारणी 83. भिन्न सांद्रता वाले विद्युतविश्लेषकों की प्रतिरोधिता  
(18 °C पर)

घट्य	$c$ , %	$\rho'$ , Mg/m <sup>3</sup>	$\rho$ , $\Omega$ cm	$\alpha$ , K <sup>-1</sup>
अमोनियम क्लोराइड	5	1.011	10.9	0.098
	10	1.029	5.6	0.086
	20	1.057	3.8	0.061
गंधकास्य	5	1.032	4.8	0.0121
	20	1.14	1.5	0.045
	30	1.22	1.4	0.0162
	40	1.30	1.5	0.0178
जिंक सल्फेट	5	1.062	52.4	0.0225
	10	1.107	31.2	0.0222
	20	1.232	21.3	0.0241
नास सल्फेट	5	1.062	52.9	0.0216
	10	1.107	31.5	0.0218
	17.5	1.206	23.8	0.0236
नमकास	5	1.023	2.5	0.0158
	20	1.1	1.3	0.0154
	40	1.2	1.9	—
नाइट्रिक अम्ल	10	1.05	2.1	0.0145
	20	1.12	1.5	0.0137
	30	1.18	1.3	0.0134
	40	1.25	1.4	0.0150
सोडियम क्लोराइड	5	1.034	14.9	0.0217
	10	1.071	8.3	0.0214
	20	1.148	5.1	0.0716
सोडियम हाइड्रोक्साइड	5	1.05	5.1	0.0201
	10	1.11	3.2	0.0217
	20	1.22	3.0	0.0299
	40	1.43	8.3	0.0648

टिप्पणी : — विद्युतविश्लेषकों की प्रतिरोधिता तापक्रम बढ़ने पर घटती है (इसके धातुओं से भिन्न है)। अन्य तापक्रमों के लिये प्रतिरोधिता  $\rho_t$  निम्न सूत्र से प्राप्त हो सकती है : समीकरण (4.28)  $\rho_t = \rho_{18} [1 - \alpha(t - 18)]$ , जहाँ  $\alpha$  सारणी प्रदत्त तापक्रम गुणांक है,  $\rho_{18}$  18 °C पर प्रतिरोधिता है और  $t$  वह तापक्रम है, जिसके लिये  $\rho_t$  ज्ञात की जा रही है,  $C$  सांद्रता है,  $\rho'$  विद्युतविश्लेषक का घनत्व है।

सारणी 84. चंद धातु-युग्मों के तापीय विवाह (mV में)

सहि-स्थल का तापक्रम, °C	प्लैटिनम-10% रोडियम युग्म प्लैटिनम	लोहा-कॉस्टेंटेन	तांबा-कॉस्टेंटेन
200		8	5.5
100	0.64	5	4
200	1.44	11	9
300	2.32	16	13
400	3.25	22	17
500	4.22	27	21
600	5.22	33	25
700	6.25	39	29
800	7.33	46	33
1000	9.57	58	41
1500	15.50		

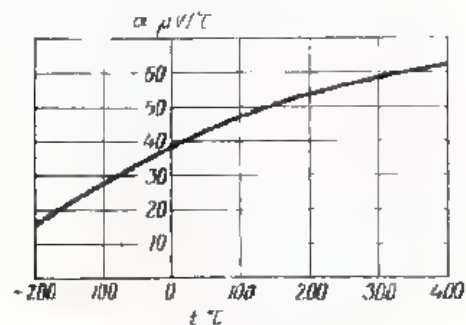
टिप्पणी : — दूसरे जोड़ (सहि-स्थल) का तापक्रम 0 °C पर रखा गया है।

सारणी 85. प्लैटिनम के सापेक्ष अन्तराश्रयी तापीय विवाह  
 $\alpha$  (0 °C पर)

धातु या धातु-मिश्र	$\alpha$ , $\mu$ V/K	धातु या धातु मिश्र	$\alpha$ , $\mu$ V/K
सोडियम	17.4	तांबा	7.4
कॉस्टेंटेन	-34.4	विश्वस्य	-65.0
जिंक, प्रटीमोनाइड	200	लेड सेलुनाइड	-300
तांबा (I) आक्साइड	1000	लोहा	16.0
जल	-16.4		

टिप्पणी : — कुछ विद्वद् दिखाने हैं कि धारा सहि-स्थल पर  $\alpha$  के कम तापगतिकीय मान वाले धातु से बनती है, जैसे तांबा कॉस्टेंटेन युग्म में कम सहि-स्थल तांबा प्लैटिनम से तांबा का भार बढ़ता है।

## ताप-कस्टेंटन युग्म का अंतराधयी तापीय विवाह

चित्र 47. ताप-कस्टेंटन युग्म  $\alpha$  अंतराधयी तापीय विवाह की तापक्रम निर्भरता  $t$ 

## सारणी 86. विद्युत् रासायनिक तुल्यांक

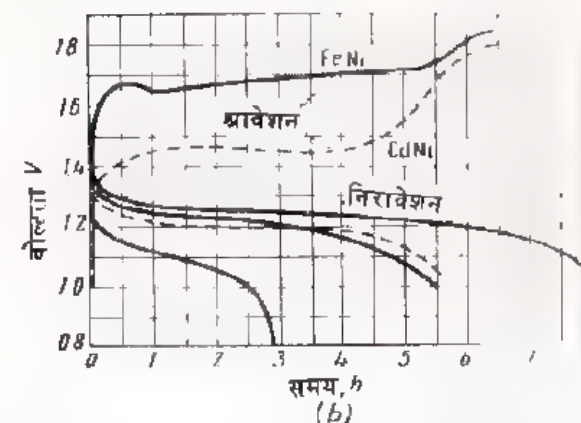
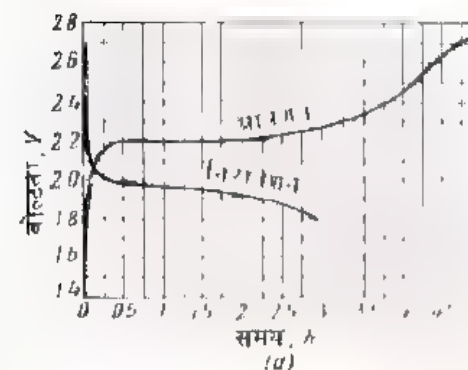
आयन	$\mu$ मोल	$\kappa$ मोल	आयन	$\mu$ मोल	$\kappa$ मोल
H	1.008	0.0104	$\text{CO}_3^{2-}$	60	1.510
$\text{O}_2^{2-}$	32.0	0.0804	$\text{Cu}^{2+}$	63.5	0.297
$\text{Al}^{3+}$	9.0	0.0936	$\text{Zn}^{2+}$	65.2	0.327
$\text{OH}^-$	17.0	0.1762	Cl	35.5	1.302
$\text{Fe}^{3+}$	55.8	0.1930	$\text{SO}_4^{2-}$	96.0	0.407
$\text{Ca}^{2+}$	40.1	0.2077	$\text{NO}_3^-$	62.0	0.642
Na	23.0	1.2388	$\text{Cu}^+$	63.5	0.670
$\text{Fe}^{2+}$	55.8	0.2895	$\text{Ag}^+$	107.9	1.113

टिप्पणी: प्रतीक पर स्थित ऋण वा धन चिह्न की सहायता से आयन द्वारा वहन किए जाने वाले प्राथमिक आवेशों की सहायता दी जाती है,  $\mu$  मोलीय द्रव्यमान  $m$ -संयोजकता।

## सारणी 87 धातुओं के मानक विभव

धातु	V	धातु	V
बैरामयम	0.40	निकल	-0.25
कार्बोपम	0.36	पारा	-0.36
चांदी	0.80	सैनेगोल	-1.65
रजत	0.76	लोहा	-0.44
तांबा	-0.35	सीसा	-0.13

## संचायकों का आवेशन व निरावेशन



चित्र 48. (a) मानक धारा (0.4, A) द्वारा अम्लीय संचायक का आवेशन व निरावेशन के कार्य-कालीन धारा (0.3, A) द्वारा उसका निरावेशन करने पर 0.6 एक सेल के विरोध पर वोल्टता में होने वाले परिवर्तन (0.5 सेल तक की गारंटी)। (b) अम्ल निकल (संतृप्त वोल्ट) और कैडमियम-निकल (संतृप्त वोल्ट) सेल संचायकों के आवेशन व निरावेशन में एक सेल के विरोध पर वोल्टता में होने वाले परिवर्तन सामान्य कार्य-काल पर ही रहा है, 0.6, A (6 घंटे, निरावेशन 5 घंटे वाले कार्य-काल पर (0.3, A)। लाहो निकल वाले 4 सेल के कोष में दिया गया एक आठ घंटे (0.3 A, व तीन घंटे (0.3 A) के कार्य-काल में निरावेशन के नियम हैं।

सारणी 88 गैल्वेनिक सेलों के विवरण

सेल का नाम	अणु द्रव्य	घन द्रव्य	घोल	विभव, V
ग्रान्(ड) सेल	जस्ता	कार्बन	12 भाग $K_2Cr_2O_7$ , 25 भाग $H_2SO_4$ , 100 भाग $H_2O$	2.01
आरोग्य चादो- जस्ता सहायक	जिक आक्साइड	चादो	पार्लियम हाइड्रॉक्साइड (KOH) का घोल	1.5
रैनिघम सेल	जस्ता	तांबा	विद्युद अलग अलग घोलों में है जस्ता सफाई के घोल में $(5-10\%)$ और तांबा कॉपर सल्फेट $(CuSO_4)$ के घोल में	1
लेक्लीच सेल	जस्ता	कार्बन	अमोनियम पराक्साइड का घोल, बुकनी कोयल के साथ मैग्नीश पराक्साइड	1.46
लेक्लीच सेल, सूखा	जस्ता	कार्बन	1 भाग $ZnO$ भाग $NH_4Cl$ 3 भाग $ZnCl_2$ और इतना पानी कि लेड सी बन जाये	1.3
आरोग्य चादो निकल या कैडमियम- निकल) सहायक	सोडे की बुकनी या लौह आक्साइड युक्त कैडमियम	निकल डाय- क्साइड	KOH का $20\%$ सांद्रता वाला घोल	1.41-1.1
अर्मा-अण्ड सहायक	जस्ता सीसा	$PbO_2$	$H_2SO_4$ का $27-28\%$ भाग, कमरे के ताप पर घोल 1.20	2.0-1.9 ( $5^\circ C$ पर)
सरल को मानक सेल	कैडमियम का अमलगम	तांबा	$CdSO_4$ का घोल घोल $Hg_2SO_4$ 4 $CdSO_4$ का घोल	1.4183

सारणी 89, जलीय घोलों में आयनों की चालनता

(18  $^\circ C$ )

आयन	$\mu$ ( $cm^2$ s V)	आयन	$\mu$ ( $cm^2$ s V)
$H^+$	350	$OH^-$	350
$K^+$	73	$Cl^-$	73
$Na^+$	50	$SO_4^{2-}$	160
$Ag^+$	63	$CO_3^{2-}$	140
$Zn^{2+}$	53		
$Fe^{3+}$	46		

टिप्पणी : 1. तापक्रम में  $1^\circ C$  की वृद्धि होने पर आयनों की चालनता क्रमशः  $2\%$  की वृद्धि होती है।

2. प्रयोग परत से कण चिह्नों की सहायता से आयनों की चालनता प्रायोगिक जाँच की जाती है।

सारणी 90 धातुओं में एलेक्ट्रॉनों की चालनता  
 $cm^2/(s V)$  में

धातु	Ag	Ni	Be	Cu	Au	Li	Al	Cl	Zn
चालनता	30	43	14	53	30	10	0	7	12

टिप्पणी : — धातु के भीतर लेव की गतिता व्यवहारिकता  $10^{-18} m$  से अधिक नहीं होती, और इयॉनिक संतुलनता के बंध के माध्यिक धातु कारणों से चालनता के सांख्यिक धातु के काफी कम होत, यह निष्कर्ष सारणी 88 में प्रस्तुत के समान धातु के धारा का समीकरण (4.24) में प्रयोग करके सरलनायक के प्रत्यक्षता जा सकता है।

सारणी 92 गैसों में आयनों की चंचलता  
(सामान्य दाब व 20°C तापक्रम पर  $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$  में)

गैस	परमाणु	आयन	गैस	परमाणु	आयन
हाइड्रोजन	1.3	1.3	हलोजन	1.4	1
ऑक्सीजन	1.5	1.7	मूल्य		
नाइट्रोजन	1.8	0.8	गैस	1.4	1
नाइट्रोजन	2.7		हाइड्रोजन	6.5	1
वायु (दाब 133 Pa)	220		हीलियम	16.6	

टिप्पणी: व्यापक स्थिति में चलने वाली गैस में विद्युत क्षेत्र की तीव्रता  $E$  और गैस के दाब  $p$  के अनुपात पर निर्भर करता है, यदि  $E/p$  का मान अधिक न हो तो चंचलता स्थिर रहती है जब आयन के कक्षक क्षेत्र के मान उनकी गति के बराबर माने जा सकते हैं। चंचलता परिवर्तन होता है।

मानक (20°C पर 273 K) तापमान गैस के घनत्व को ज्ञात करने के लिए दाब के अनुपात  $p/p_0 = 1/1.01325$  में आयन के आयन क्षेत्र के मान पर चंचलता बदल कर निर्धारित करना है।

चंचलता गैस की तापमान और दाब पर निर्भर करता है। सामान्य तापमान में दाब का चंचलता का काम चलाकूट मान माना जाता है।

सारणी 93 आयनन में संयोजन कार्य  
(आयनन का विभव)

आयनन	$E$ (eV)	आयनन	$E_{\text{ion}}$ (eV)
$\text{He} \rightarrow \text{He}^+$	24.5	$\text{H} \rightarrow \text{H}^+$	13.6
$\text{Ne} \rightarrow \text{Ne}^+$	21.5	$\text{O} \rightarrow \text{O}^+$	13.6
$\text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^+$	15.5	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+$	13.6
$\text{Ar} \rightarrow \text{Ar}^+$	15.8	$\text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^+$	15.8
$\text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2^+$	15.4	$\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2^+$	19.5
$\text{N} \rightarrow \text{N}^+$	14.5	$\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^+$	10.4
$\text{CO} \rightarrow \text{CO}^+$	14.4	$\text{N}_2 \rightarrow \text{N}_2^+$	15.8
$\text{Kr} \rightarrow \text{Kr}^+$	13.9	$\text{K} \rightarrow \text{K}^+$	4.3

सारणी 93 धातुओं व अधचालकों के उत्सर्जन-स्वरांक

धातु	$\lambda$ (Å)	$\lambda$ (Å) ( $\text{cm}^2 \text{ K}^{-2}$ )
अल्यूमीनियम	3.74	—
एंड्रोनो	3.73	—
कॉपर	4.51	—
कैल्शियम	4.56	—
सोडियम	4.50	—
टंगस्टन	4.50	—
टिन	4.3	—
जिंक	4.12	—
तांबा	4.47	—
थोरियम	3.41	—
निकल	4.84	—
सिलिकन	5.29	—
सिलिकन	2.29	—
सिलिकन	4.37	—
सिलिकन	3.74	—
लोहा	4.56	—
सिलिकन	1.86	—
सिलिकन	4.0	—
सिलिकन	4.72	—

टिप्पणी: निकाली कार्य गति की गतिता और अणुओं पर चंचल गति निर्भर करता है। दिए गए मान उद्धृत मान के अनुरूप हैं।

सारणी 94. धातु पर अिलियों के उत्सर्जन-स्थिरांक

धातु	सिल्लो	$A$ , eV	$B$ , $\text{\AA}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2)$
टंगस्टन	विकॉनियम	3.14	5.0
"	थोरियम	2.58	1.5
"	वैरियम	1.56	1.5
"	यूरेनियम	2.81	3.2
"	कोनियम	1.36	3.2
टैटेलम	थोरियम	2.52	0.5
मोनिटरेनम	"	2.58	1.5

सारणी 95. ऑक्साइड-अस्तर वाले कैथोडों के उत्सर्जन-स्थिरांक

धारा	$A$ , eV	$B$ , $\text{\AA}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K}^2)$
वैरियम-अम्लीयन टंगस्टन	1.34	0.18
वैरियम अम्लीयन टंगस्टन पर	1.10	0.3
BaO, लिवेल धातु-विश्व पर	1.50-1.83	0.087-2.18
थोरियम ऑक्साइड के अस्तर वाला कैथोड (औसतमान)	2.59	4.35
निकेल BaO-SrO	1.20	0.96
Pt-Ni BaO-SrO	1.37	2.45

सारणी 96. अर्ध-चालकों के गुण

( $t_g$ —गलनांक,  $\Delta F_g$ —वर्जित पट्टी की चौड़ाई  $\mu_R$ ,  $\mu_p$ —क्रमशः एलेक्ट्रॉनों व छिद्रों की चंचलताएँ)

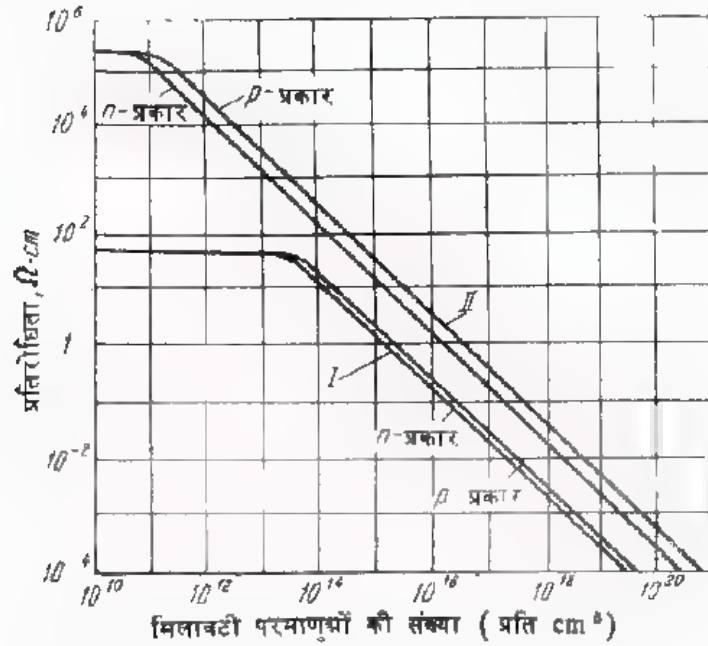
	$t_g$ , °C	$\Delta F_g$ , eV	$\mu_R$ , $\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$	$\mu_p$ , $\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$
आयोडीन (I)	114	1.3	2	
आर्सेनिक (ग्रुप) (As)	317	1.2	60	65
एन्टिमनी (Sb)	630	0.14		
जर्मेनियम (Ge)	958	0.75	3900	1900
स्टेन (Sn) (Sn)	232	0.08	2300	2400
सिलिकन (Fe)	43	0.37	1300	1300
फॉस्फोरस (वाला) (P)	44	0.33	2900	1300
बोरॉन (B)	2300	1.10	1	0
सेलेनियम (ग्रुप) (Se)	217	2.3		90
ग्रेफाइट (C)	4030	5.4	1800	1300
सिलिकन (Si)	1414	1.14	1300	1000
PbSe	1065	0.5	1100	1000
PbS	1114	0.5	600	700
AgBr	430	2.0	240	100
CdS	1750	2.5	100	100
Cu <sub>2</sub> O	1232	1.5	0.1	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2300	0.5		
ZnO	1975	3.4	200	

टिप्पणी. — चंचलता के प्रत्येक मान करने के तापमान पर न मिलाना मिलान की प्रतीति के लिये है।

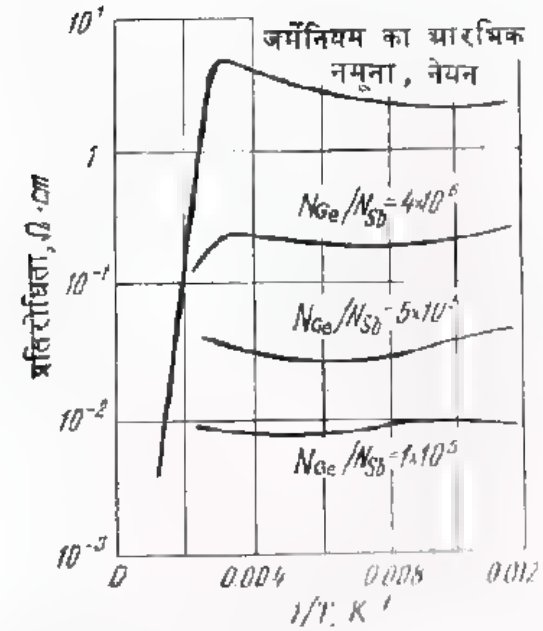
विद्युत-क्षेत्र की तीव्रता पर चंचलता की निर्भरता के कारण अर्धचालकों में धारा के नियम का उल्लंघन प्रोक्षित हो सकता है। क्षेत्र की अत्यन्त कम तापमान पर धारा के नियम का उल्लंघन दिखता शुरू हो जाता है। चरम क्षेत्र  $10^4$  तक बढ़ाती है।  $t = 20^\circ\text{C}$  पर n-जर्मेनियम में चरम क्षेत्र  $1.0 \text{ kV/cm}$   $p$ -जर्मेनियम में  $1.4 \text{ kV/cm}$ , n-सिलिकन में  $2.5 \text{ kV/cm}$  और  $p$ -सिलिकन में  $7.5 \text{ kV/cm}$  होती है। तापक्रम घटाने से चरम क्षेत्र की घटता है।



## जर्मेनियम व सिलिकन का विशिष्ट प्रतिरोध

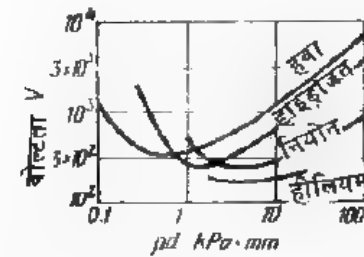


चित्र 49. अशुद्ध परमाणुओं की सांद्रता पर जर्मेनियम (I) व सिलिकन (II) के विशिष्ट प्रतिरोध की निर्भरता तापक्रम  $\approx 20^\circ\text{C}$ ।



चित्र 50. तापक्रम पर जर्मेनियम के विशिष्ट प्रतिरोध की निर्भरता। ऊर्ध्व अक्ष पर योक्तियों के मान लघुगुणकी पैमाने पर स्थित हैं और क्षैतिज अक्ष पर परम तापक्रम है। योक्तियों में  $N_{\text{Ge}}$  जर्मेनियम परमाणुओं की संख्या,  $N_{\text{Sb}}$  सिलिकन परमाणुओं की संख्या है।

## चपटे विद्युतों के बीच तड़क-वोल्टता



चित्र 51. चपटे धातुई विद्युतों के लिये राशि  $pd$  पर तड़क-वोल्टता की निर्भरता ( $p$  = गैस का दाब,  $d$  = विद्युतों की आपसी दूरी)।

सारणी 97. हवा में स्फुलिंगाकाश  
(सामान्य दाब पर, mm में)

मेज की लीयन वाल्डगा kV	धातुई इलेक्ट्रोडों के रूप		
	दी बिंदु	1 cm व्यास मात्र दी यनन	दी प्लेन
20	15.5	5.8	6.1
40	45.5	13	13.7
100	200	45	36.7
200	410	262	75.3
300	600	330	114

## C. चुंबकीय क्षेत्र, विद्युचुंबकीय प्रेरण

### मूल अवधारणाएं और नियम

#### 1. चुंबकीय प्रेरण, धाराओं की व्यतिक्रिया, चुंबकीय आघूर्ण

धारायुक्त चालकों, चुंबकीय धारायुक्त चालकों, चुंबकीय क्षेत्रों के बीच व्यतिक्रिया (परस्पर या आपसी क्रिया) होती है। यह व्यतिक्रिया एक (भौतिक) क्षेत्र के माध्यम से होती है, जिसे **चुंबकीय क्षेत्र** कहते हैं। चुंबकीय क्षेत्र उन मापतत्त्वों में प्रेक्षित होता है, जिनके मापेक्ष आवेशों की गति क्रमबद्ध (सुव्यवस्थित) होती है। जिन मापतत्त्वों के मापेक्ष आवेश गतिहीन होते हैं, उनमें चुंबकीय क्षेत्र का कोई अस्तित्व नहीं होता।

चुंबकीय क्षेत्र की उपस्थिति का ज्ञान चुंबकीय मुईय धारायुक्त चालकों (या गतिमान आवेशों) पर उनके प्रभाव के कारण होता है। इस प्रभाव का अभिव्यक्ति करने वाला बल **चुंबकीय बल** कहलाता है। गतिहीन स्थिर आवेशों पर चुंबकीय बल का कोई प्रभाव नहीं होता।

चुंबकीय क्षेत्र को लाइन (कॉन्क्वेराइड) करने के लिए सदिष्ट राशि **B** प्रयुक्त होती है जिस **चुंबकीय प्रेरण** कहते हैं। सदिष्ट चुंबकीय प्रेरण की दिशा क्षेत्र के दिष्ट हुए बिंदु पर स्थित चुंबकीय मुई के उत्तरी धोर पर

यथाशील बल की दिशा के साथ स्थापित करता है। चुंबकीय क्षेत्र में रखे हुए धारायुक्त चालक पर क्रियाशील बल एंपियर के नियम द्वारा निर्धारित होता है। (चित्र 52)

$$\Delta F = kI |\Delta B|, \quad \Delta F = kI \Delta B \sin \theta \quad (4.50)$$

जहाँ  $I$  धारा-घन  $\Delta l$  चालक की लंबाई (मी)।  $\theta$  (मापेक्ष) लंबाई (चालक की लंबाई का सूत)  $B$  चुंबकीय प्रेरण  $\theta$   $B$  व  $\Delta l$  के बीच



चित्र 52. धारायुक्त चालक बल पर (अनुमानित मूल पर)।

का बाण चालक की मूल लंबाई  $\Delta l$  एक सदिष्ट है जिसका दिष्ट माप  $\Delta l$  दिशा के साथ स्थापित करती है। गुणनफल  $\Delta l$  का धारा-घन  $I \Delta l$  समानुपातिकता का समुदाय  $k$  इकाइयों के नियत पर  $[k] = [I \Delta l / \Delta F]$  का समीकरण एक ही प्रणाली में व्यक्त है ता  $k = 1$ ।

समाक के अनुसार चुंबकीय प्रेरण उस बल के बराबर  $B = 1$ । जहाँ चुंबकीय क्षेत्र सदिष्ट प्रेरण के अभिलंब स्थित इकाई धारा-घन  $(I \Delta l = 1)$  पर क्रिया करता है। चुंबकीय प्रेरण माध्यम के गुणों पर निर्भर करता है।

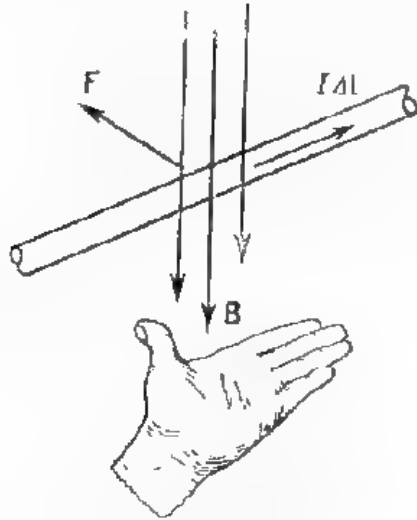
अप्र. म प्रेरण की इकाई टेस्ला (T) है।  $1 \text{ T} = 1 \text{ N/A}$ । चुंबकीय प्रेरण है जो सदिष्ट प्रेरण के अभिलंब स्थित इकाई धारा-घन पर  $1 \text{ N}$  बल लगाना है।

चुंबकीय प्रेरण  $B$  के साथ-साथ एक और राशि प्रयुक्त है। चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता  $H$  निर्वात में चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता पर  $B$  का हो कहते हैं, जो चुंबकीय प्रेरण  $B$  और चुंबकीय प्रेरण  $\mu_0$  का गुणनफल  $H = B / \mu_0$  के बराबर होती है। अप्र. म  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$ । इसी अन्य माध्यम में चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता  $H = B / (\mu_r \mu_0)$  के बराबर होती है जहाँ  $\mu_r$  माध्यम की सापेक्ष चुंबकीय तीव्रता है। गुणनफल  $\mu_r \mu_0 = \mu$ , जो माध्यम की परम चुंबकीय तीव्रता कहते हैं।

चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता की इकाई ऐंपियर प्रति मीटर (A/m) है। 1 A/m चुंबकीय क्षेत्र की ऐसी तीव्रता है, जो  $4\pi A$  धारा वाले अनंत लंबे ऋजु चालक द्वारा उसमें 2 m की दूरी पर उत्पन्न होती है।

चुंबकीय वेधिता  $\mu$  वाले माध्यम में धाराओं की व्यतिक्रिया  $\mu$  गुनी अधिक होगी, वनिस्वत कि निर्वात में उनकी व्यतिक्रिया के [दे (4.51)]। स्पर्शक (सब दिशाओं में समान गुण रखने वाले) माध्यम में सदिश  $B$  और  $H$  समान दिशाएं रखते हैं।

$\mu_0$  की विमीयता और उसका सांख्यिक मान इकाइयों की प्रणाली के चयन पर निर्भर करते हैं (पृ. 287)। मापेक्षिक चुंबकीय वेधिता  $\mu$  इकाइयों की प्रणाली के चयन पर निर्भर नहीं करती; इसके मान अक्सर निर्देशिका-तालिकाओं में दिये जाते हैं।



चित्र 5.3. बाय हाथ का नियम।

धारायुक्त चालक पर क्रियाशील बल की दिशा **बाय हाथ के नियम** द्वारा निर्धारित होती है। यदि चुंबकीय क्षेत्र की बल-रेखाएँ बायीं हथेली पर लंबवत आते हुए गड़ी हों और मीमटी उंगलियाँ धारा की दिशा दिखा रही हों, तो इंगलियाँ हुआ अगूठा चालक पर क्रियाशील बल की दिशा दिखाता है (चित्र 5.3)।

दो पर्याप्त लंबे ऋजु, समानांतर व धारायुक्त चालक आपस में इस प्रकार व्यतिक्रिया करने हैं कि, यदि उनमें धारा की दिशाएं समान होती हैं तो वे परस्पर आकर्षित होते हैं, धारा की दिशाएं विपरीत हों पर वे विरक्षित होते हैं। इस नियम की गणितीय सीमा यन्त्रा निम्न है

$$F = \frac{\mu \mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \quad (4.51)$$

जहाँ  $a$  = चालकों की आपसी दूरी  $l$  का  $1/2$  भाग है,  $I_1, I_2$  चालकों में धारा-बल,  $\mu$  — उस माध्यम की चुंबकीय वेधिता जिसमें चालक स्थित हैं (4.51) के आधार पर धारा-बल को इकाई गुणक प्रणाली की जाती है। ऐंपियर एक अपरिवर्तनीय धारा का बल है, जिसकी संख्या पर 1 m दूर स्थित लगभग अनुप्रस्थ काट वाले दो अनंत लंब, ऋजु समानांतर चालकों में बह कर उनके 1 m लंबे भाग पर  $2 \times 10^{-7}$  N के बराबर आकर्षण बल उत्पन्न करती है।

चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेश (आवृष्ट कण) पर एक बल क्रियागो हा जाता है, जिसे **लॉरेंस-बल** कहते हैं।

$$F_L = Q|\mathbf{v} \times \mathbf{B}| \text{ मापाक } F_L = QvB \sin \alpha \quad (4.52)$$

जहाँ  $Q$  = कण का आवेश,  $\mathbf{v}$  = वेग,  $\alpha$  = वेग व प्रमाण  $B$  के बीच का कोण। लॉरेंस-बल की दिशा उस तल पर लंब होती है, जिसमें  $\mathbf{v}$  व  $B$  स्थित होते हैं।

चुंबकीय क्षेत्र में रगड़ी गयी समतली धारा-आकृति (पृ. 5) पर बल प्रमाण  $M$  क्रिया करता है

$$\mathbf{M} = IS[\mathbf{n} \times \mathbf{B}], \quad |\mathbf{M}| = ISB \sin \alpha \quad (4.53)$$

जहाँ  $I$  = धारा-बल,  $S$  = आकृति का क्षेत्रफल,  $B$  = चुंबकीय प्रमाण,  $\alpha$  = आकृति के तल के लंब और सदिश  $B$  के बीच का कोण,  $\mathbf{n}$  = आकृति पर लंबवत इकाई सदिश।

राशि  $p_m = IS$  को आकृति का चुंबकीय आघूर्ण कहते हैं। चुंबकीय आघूर्ण एक सदिश राशि है। इसकी दिशा दक्षिण-पंच व नियम से निर्धारित होती है : यदि पंच की आकृति में बहती धारा की दिशा में घुमाया जाये, तो पंच की अग्रवर्ती गति की दिशा  $p_m$  की दिशा के साथ संपात करेगी।

कई एक आकृतियों का चुबकीय आवृण उनके चुबकीय आवृणों के सदृष्ट योग के बराबर होता है।

$Q$  आवेश वाला कण जब बिज्या  $R$  वाले वृत्तीय कक्ष पर रैखिक वेग  $v$  से घूमता है, तो उसका चुबकीय आवृण (मापांक में) निम्न सूत्र द्वारा निर्धारित होता है

$$p_m = QvR/2. \quad (4.54)$$

## 2. गतिशील आवेशों की व्यतिक्रिया

व्यतिक्रिया का कलन लॉरेन्स के रूपांतरकारी सूत्र के सहारे किया जाता है (दे. पृ. 9)। जब आवेश मापतंत्र के सापेक्ष अचल रहते हैं, तो इस तंत्र में उनकी व्यतिक्रिया का फल कूलम्ब के नियम के अनुसार कलित होता है (दे. पृ. 128)।

यदि एक आवेश, जैसे  $Q_1$  (चित्र 54) अक्ष  $Ox$  के अनुवोर वेग  $v$  से गतिमान है, और आवेश  $Q_2$  अचल है, तो आवेश  $Q_2$  पर क्रियाशील बल



चित्र 54. समान चिह्नों वाले गतिमान आवेशों की व्यतिक्रिया।

मान और दिशा में बदलना रहता है, बल का घटक  $F_x$  उद्यो-का-न्धो रहता है; घटक  $F_y$  वक्रता है और उसका मान

$$F_y = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4.55)$$

होता है।

उस स्थिति में, जब दोनों ही आवेश अक्ष  $Ox$  के समानान्तर गतिमान रहते हैं:  $Q_1$ —वेग  $v_1$  से और  $Q_2$  वेग  $v_2$  से, आवेश  $Q_2$  पर  $F_y$  के अन्दाव एक अनिरिक्त बल  $\Delta F_y$  क्रियाशील हो जाता है

$$\Delta F_y = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \right) \sin \alpha \quad (4.56)$$

यदि  $\mathbf{j}_1$ —अक्ष  $Ox$  के अनुवोर वेग  $v_1$  से,  $\mathbf{j}_2$ — $Ox$  से  $\alpha$  कोण पर घूर्णित किया जा रहा है,  $\alpha$ — $v_1$  व  $v_2$  के बीच का कोण। धातक  $F_y$  स्थिर रहता है। गतिमान आवेश  $Q_2$  पर क्रियाशील बल  $\mathbf{F}_{12}$  की दिशा  $\mathbf{F}_{12}$  दिशा के साथ समान नहीं बल्की और  $\mathbf{F}_{12}$  में  $\Delta F_y$  का घटक  $\Delta F_y \sin \alpha$  मिले है।

आवेश  $Q_2$  के वैसा क्षण में गतिमान आवेश  $Q_1$  पर बल  $\mathbf{F}_{21}$  पर अनिरिक्त घटक क्रियाशील होता है।

$$\Delta F_x = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \right) \cos \alpha \quad (4.57)$$

यस प्रकार,  $\Delta F_y = \Delta F_y' \sin \alpha$  और  $\Delta F_x = \Delta F_x' \cos \alpha$ ।

व्यापक स्थिति में गतिमान आवेश  $Q_1$  के बलक्ष क्षण में  $\mathbf{F}_{12}$  गतिमान आवेश  $Q_2$  पर क्रियाशील बल  $\mathbf{F}_{12}$  और गतिमान आवेश  $Q_2$  के बलक्ष क्षण में स्थित गतिमान आवेश  $Q_1$  पर क्रियाशील बल  $\mathbf{F}_{21}$  के घटक के समान रहते हैं। इन दोनों की दिशा आवेशों में घुजरने वाली तरंग रेखा के साथ स्थित नहीं करती।

अन्त वेग  $(v \ll c)$  के लिए

$$\Delta F_y = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left( \frac{v_1 v_2}{c^2} \sin \alpha \right) \quad (4.58)$$

यस बल को चुबकीय बल कहते हैं। यदि जड़की तंत्र  $K$  में आवेश  $Q_1$  स्थिर जुड़ा होगा, तो इस तंत्र में चुबकीय क्षेत्र नहीं होगा, यानी  $\Delta F_y = 0$ । व्यतिक्रिया सिर्फ आवेशों के रैखिक घनत्व में परिवर्तन के कारण उत्पन्न क्षेत्र द्वारा निष्पन्न होती है। यदि धारावाही नालिका  $K$  में आवेश  $Q_1$  के साथ  $v$  में गतिमान चल रहा है, तो उनके बीच कूलम्ब द्वारा तीव्रता  $F_y$  मिलती है, क्योंकि विद्युत की दृष्टि से चालक नालिका  $K$  आवेशों का योग शून्य के बराबर होता है, और इमीनक  $\epsilon = \epsilon_0$  (4.56) द्वारा त्रुटिपि व्यतिक्रिया प्रेषित होती है।

### 3. निर्वात में चुंबकीय क्षेत्र

चुंबकीय क्षेत्र की बल-रेखाएँ ऐसी रेखाओं को कहते हैं जिनकी स्पर्श रेखाएँ दिये हुए बिंदु पर क्षेत्र की तीव्रता की दिशा के साथ संपात करती हैं। क्षेत्र की चुंबकीय बल रेखाएँ सदैव द्वितीय (विद्युत्स्थितिक क्षेत्र की बल रेखाएँ इनमें इसी क्रान्त में भिन्न होती हैं)। ऋजुरैखिक धारा की बल रेखाएँ चालक के अभिलम्ब तल पर स्थित सहकेन्द्रीय वृत्त होती हैं। (चित्र 55)। चुंबकीय क्षेत्र की बल-रेखा की दिशा दक्षिण हँस के नियम से निर्धारित होती है : यदि पेंच को इस प्रकार घमाया जाये कि, वह धारा की दिशा में आगे बढ़े या उस घुमाने की दिशा बल रेखाओं की दिशा बताती है (चित्र 55)।

धारा-मूल  $\Delta I$  द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता

$$\Delta H = \frac{1}{4\pi r^2} |\Delta I r_0|$$

$$|\Delta H| = \frac{I \Delta l \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (4.59)$$

जहाँ  $r$  धारा मूल से उस बिंदु तक खींचा गया त्रिज्य सदिश, जिस पर तीव्रता ज्ञात करनी है,  $\alpha$   $\Delta I$  व  $r$  के बीच का कोण  $r_0$ —इकाई सदिश। इस संबंध का बिद्यो सावार्ट-लेन्जेस का नियम कहते हैं।

धारायुक्त लंबे ऋजु चालक के विद्युत-क्षेत्र की तीव्रता

$$H = \frac{I}{2\pi a} \quad (4.60)$$

जहाँ  $a$  चालक से क्षेत्र के उस बिंदु तक की न्यूनतम दूरी, जिस पर तीव्रता ज्ञात करनी है।



चित्र 55 बिद्यो सवार्त व लेन्जेस नियम का स्पष्टीकरण। दक्षिण पक्ष का नियम

वृत्ताकार धारा के केंद्र में चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता

$$H_{\text{वृत्त}} = I_r (2R) \quad (4.61)$$

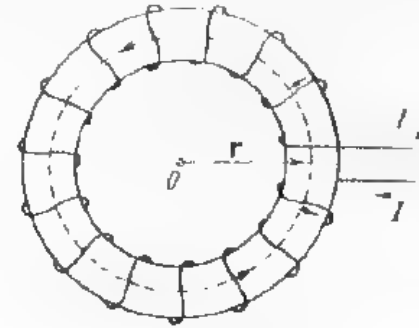
जहाँ  $R$ —वृत्त की त्रिज्या।

छल्लज (छल्ले पर तार लपेटने में बनी  $N$  लपेटों, चित्र 56) के भीतर क्षेत्र की तीव्रता :

$$H_{\text{छल्लज}} = NI (2\pi r) \quad (4.62)$$

जहाँ  $N$ —लपेटों की कुल संख्या,  $r$ —छल्ले की त्रिज्या।

यदि ऋजु नल्लज (योंही लंबे पर तार लपेटा हुआ नल्लज) हो



चित्र 56. छल्लज।

नबार्द लपेटनों के व्यास की तुलना में अत्यधिक बड़ी है, तो हम नल्लज की भीतर (लपेटनों से दूर, नल्लज के अक्ष पर) क्षेत्र की तीव्रता  $H_{\text{नल्लज}}$  तथा बिंदुओं पर समान जानी है।

$$H_n = nI, \quad (4.63)$$

जहाँ  $n$ —नल्लज की इकाई लंबाई पर लपेटनों की संख्या। योंही नल्लज में क्षेत्र समरूप होता है।

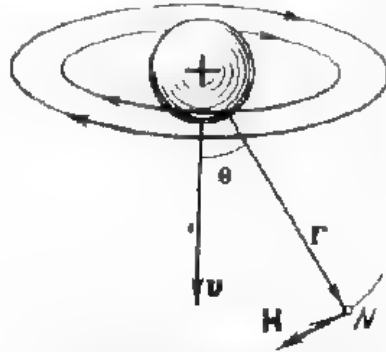
गतमान आविष्ट कण (चित्र 57) के क्षेत्र की तीव्रता

$$H_Q = \frac{Q \cdot r r_0}{4\pi r^2} \quad (4.64)$$

जहाँ

$$\text{मापक } H_Q = \frac{Qv \sin \theta}{4\pi r^2}$$

जहाँ  $O$  - कण का आवेश,  $v$  - उसका वेग,  $r$  - कण से उस बिंदु तक खींची

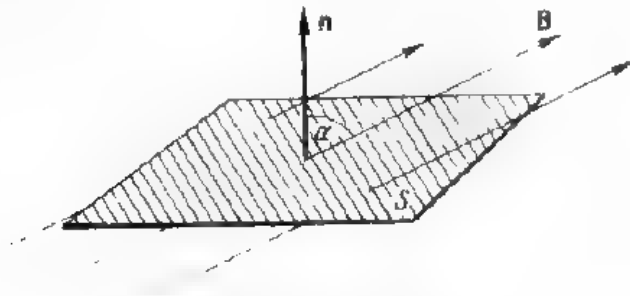


चित्र 57. गतिमान कण का चुंबकीय क्षेत्र।

गया दिव्य सदिश जिस पर क्षेत्र का लीपिका ज्ञात करनी है,  $\theta = v$  व  $r$  के बीच का कोण,  $r_D =$  इकाई सदिश।

#### 4 चुंबकीय क्षेत्र में धारायुक्त चालक के स्थानांतरण से संपन्न कार्य, विद्युचुंबकीय प्रेरण

समरूप क्षेत्र में समसूत्री आकृति में गुजरने वाला चुंबकीय प्रवाह चुंबकीय प्रेरण के मापक  $B$ , आकृति के क्षेत्रफल  $S$  और आकृति के तल के अभिलंब के साथ क्षेत्र की दिशा द्वारा बने कोण  $\alpha$  की कोज्या के गुणफल को कहते हैं (चित्र 58)।



चित्र 58. चुंबकीय प्रवाह की परिभाषा।

$$\phi = BnS = BS \cos \alpha, \quad (4.65)$$

यहाँ  $n$  - तल की नभ दिशा में इकाई सदिश।

चुंबकीय प्रवाह की इकाई वेबेर (Wb) है। Wb ऐसा चुंबकीय प्रवाह है जो 1 T प्रेरण वाले समरूप चुंबकीय क्षेत्र के कारण अभिलंबी काट के  $1m^2$  क्षेत्र में गुजरता है।

चुंबकीय क्षेत्र में धारायुक्त चालक की गति के कारण संपन्न कार्य

$$W = \int \phi_1 d\phi_2 - \phi_1 \phi_2 \quad (4.66)$$

यहाँ  $\phi_1$  - स्थानांतरण के आरम्भ में चुंबकीय क्षेत्र का चुंबकीय प्रवाह  $\phi_2$  - स्थानांतरण के अंत में चुंबकीय क्षेत्र का चुंबकीय प्रवाह।

परिवर्तनशील चुंबकीय प्रवाह संचालक में उत्पन्न करता है। प्रेरण (इंड्यूसिड) या चुंबकांतिक विद्युत क्षेत्र) उत्पन्न करता है। प्रेरण क्षेत्र का मापन करवा बल (ए. 143) की विधा के रूप में प्रयुक्त होता है। इस मापन का विद्युचुंबकीय (संक्षेप में विद्यु) प्रेरण कहते हैं और इसमें उत्पन्न विद्युत्वाहक बल को प्रेरण का विवाह कहते हैं। प्रेरण का विवाह दो धारा प्रेरित धारा कहलाता है। प्रेरित धारा की दिशा ऐसा होता है कि उसका चुंबकीय क्षेत्र प्रेरित धारा को उत्पन्न करने वाले चुंबकीय क्षेत्र के परिवर्तन को रोकता है (लेन्स का नियम)।

प्रेरण का विवाह निम्न सूत्र द्वारा ज्ञात किया जा सकता है,

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

अर्थात् मापक के अनुसार प्रेरण का विवाह आकृति द्वारा दिए क्षेत्र में गुजरने वाले चुंबकीय प्रवाह में परिवर्तन की दर के बराबर होता है। (यदि  $\Delta \phi / \Delta t$  के चिह्न विपरीत है - न्यूटन के नियमानुसार)।

#### 5 स्वप्रेरण

चालक में बहने वाली धारा में किसी भी प्रकार का परिवर्तन होने पर उसमें प्रेरण का विवाह उत्पन्न हो जाता है जिसका कारण इस धारा का चुंबकीय प्रवाह होता है। स्वप्रेरण कहते हैं।

स्वप्रेरण का विवाह ज्ञात करने के लिए सूत्र है

$$\mathcal{E} = - L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (4.68)$$





$$\mathbf{J} = (\sum p_n), \quad (4.75)$$

चुंबकता चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता  $H$  व  $J$  की समानुपाती होती है

$$\mathbf{J} = \chi \mathbf{H} \quad (4.76)$$

राशि  $\chi$  को चुंबकीय प्रवणता कहते हैं, यह एक विमाहीन राशि है  $B, H, J$  और  $\chi$  व  $\mu$  के बीच निम्न संबंध है

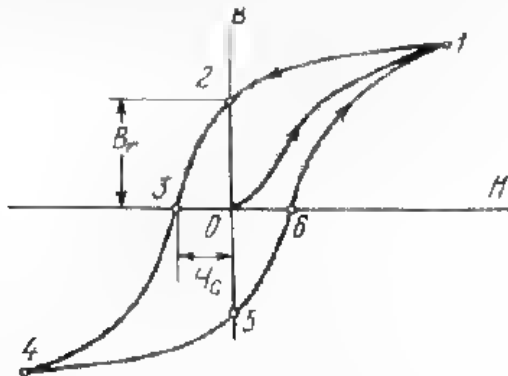
$$\mu B_m = \mu_0 J, \quad B = \mu_0 H + \mu_0 J, \quad \mu = 1 + \chi \quad (4.77)$$

किसी द्रव्य की विशिष्ट प्रवणता  $\chi_p$ , उस द्रव्य की सात्वता (प्रवणता)  $\chi$  व इसके घनत्व  $\rho$  से अनुपात के बराबर होती है, अर्थात्  $\chi_p = \chi / \rho$

$H$  पर  $B$  (या  $J$ ) की निर्भरता निर्धारित करने वाले वक्र को चुंबकन का वक्र कहते हैं।

जिन द्रव्यों के लिए  $\chi$  शून्य से थोड़ा सा अधिक होता है, उन्हें पराचुंबकीय पदार्थ (पराचुंबिक) कहते हैं, जिन द्रव्यों के लिए  $\chi < 0$  वे पराचुंबकीय पदार्थ (पाराचुंबिक) कहलाते हैं जिन द्रव्यों के लिए  $\chi$  इकाई से बहुत अधिक होता है उह लौहचुंबिक का नाम दिया गया है

लौहचुंबिक पराचुंबिक व पाराचुंबिक में कई गुण में भिन्न होते हैं।



चित्र 59 निरामन गण (a) अचुंबकित अवस्था से चुंबकन का वक्र (b) चुंबकन का वक्र

(a) लौहचुंबिकों का चुंबकन-वक्र जटिल प्रकृति का होता है (चित्र 59), पाराचुंबिकों के लिए वह धनात्मक कोणिक समुणक वाली सरल रेखा जैसा

होता है और पाराचुंबिकों के लिए  $\chi$  ऋणात्मक कोणिक समुणक वाली सरल रेखा जैसा

लौहचुंबिकों की चुंबकीय प्रवणता  $\chi$  पर तापमान  $T$  की तीव्रता पर निर्भर करती है, पाराचुंबिक व पाराचुंबिकों में ऐसी अनवरतता नहीं है।

लौहचुंबिकों के लिए अवसर आसानी से चुंबकीय क्षितिज ( $\mu_r$ ) निर्दिष्ट की जाती है यह चुंबकीय क्षेत्र का सीमाना शून्य है जब राशि की तीव्रता और उसका प्रेरण शून्य के निरंतर शून्य है, यथोक्त।

$$\mu_r = \lim_{H \rightarrow 0} \mu$$

लौहचुंबिकों का लिए  $H$  पर  $\mu$  का निम्नतम मान  $\mu_{min}$  का मान  $\mu_{min}$  से गुजरता है (देखिए चित्र 61a)। अवसर महत्तम मान  $\mu_{max}$  को  $\mu_{max}$  माना जाता है (देखिए चित्र 98 व 99)

(b) लौहचुंबिकों की चुंबकीय प्रवणता तापक्रम  $T$  के साथ घटती जाती है, क निम्नतम तापक्रम  $T_c$  पर लौहचुंबिक पाराचुंबिक में परिवर्तित हो जाता है।

इस तापक्रम का क्यूरी-तापक्रम या क्यूरी बिंदु कहते हैं। तापमान  $T$  से  $T_c$  से कम तापक्रम पर द्रव्य पाराचुंबिक होता है। क्यूरी-तापक्रम के तापमान  $T_c$  से चुंबकीय प्रवणता तेजी से बढ़ जाती है।

पाराचुंबिकों और कुछ पाराचुंबिकों (जैसे धातुय धातुओं) में चुंबकीय प्रवणता तापक्रम पर निर्भर नहीं करती। पाराचुंबिकों की चुंबकीय प्रवणता तापक्रम के साथ घटती जाती है (देखिए चित्र 59)। पाराचुंबिकों को छोड़ कर) परम तापक्रम व शून्य तापक्रम में परिवर्तित होते हैं।

(c) निचुंबकित लौहचुंबिकों का चुंबकीय क्षेत्र द्वारा चुंबकन का वक्र  $H$  पर  $B$  (या  $J$ ) की निर्भरता वक्र 0-1 द्वारा निर्दिष्ट है (देखिए चित्र 59)। इस चुंबकन का आरंभिक वक्र कहते हैं। क्षणिक चुंबकन  $J$  के साथ बढ़ता है फिर धीमा हो जाता है और एक स्थिर मान में स्थिर हो जाती है और क्षेत्र (की शक्ति) में और वृद्धि करने पर भी चुंबकन व्यावहारिकता स्थिर रहता है।

चुंबकता  $J$  का महत्तम मान सतृप्त-चुंबकता ( $J_s$ ) कहलाता है।  $H$  का शून्य तक कम करने पर  $B$  (या  $J$ ) वक्र 1-2 के अनुसार बदलता है। इससे परिवर्तन क्षेत्र की तीव्रता में होने वाले परिवर्तन से फल प्राप्त लगता है, इस सतृप्ति को चुंबकीय चिंतावन (magnetic hysteresis) कहते हैं।

यह वक्र hysteresis (देखें से जाना) शब्द से है। —अन

क्षेत्र हटाकर पर (जब  $H=0$ ) बचा हुआ चुबकीय प्रेरण अवशिष्ट चुबकीय प्रेरण ( $B_r$ ) कहलाता है। चित्र 59 में यह खंड 0-2 के बराबर है। लौहचुम्बिक को निचुम्बिक करने के लिए अवशिष्ट प्रेरण को दूर करना पड़ता है। इसके लिए आवश्यक है कि विपरीत दिशा वाला क्षेत्र उत्पन्न किया जाय। विपरीत दिशा वाले क्षेत्र में चुबकीय प्रेरण का परिवर्तन-वक्र 2-3-4 द्वारा निरूपित होगा। क्षेत्र की तीव्रता  $H_1$  (चित्र 59 में खंड 0-3), जिस पर चुबकीय प्रेरण शून्य के बराबर हो जाता है, निम्नही तीव्रता (या बल) कहलाती है।

$+H$  से  $-H$  के अंतराल में चुबकीय क्षेत्र की आवृत्ति रूप में परिवर्तनशील तीव्रता पर  $B$  (या  $J$ ) की निर्भरता वक्र 1-2-3-4-5-6-1 द्वारा निरूपित होती है। ऐसे निर्भरता वक्र का चित्रावन-पाश कहते हैं।

क्षेत्र की तीव्रता में  $+H$  से  $-H$  तक के परिवर्तन के एक चक्र में खर्च हुई ऊर्जा चित्रावन-पाश के क्षेत्रफल को समानुपाती होती है।

लौहचुम्बिका के गुणों का कारण उनमें ऐसे 'इलाको' की उपस्थिति है, जो बाह्य चुबकीय क्षेत्र के बिना ही स्वतःस्फूर्त रूप से मूलस्थिती की अवस्था तक चुम्बकित होते हैं; ऐसे इलाको को प्रांत कहते हैं। प्रांतों की स्थिति और चुम्बकनता ऐसी होती है कि क्षेत्र की अनुपस्थिति में कुल जोड़ी गयी चुम्बकनता शून्य के बराबर होती है। जब लौहचुम्बिका का चुबकीय क्षेत्र में रखा जाता है तब प्रांतों के बीच की सीमा-रेखाएँ स्थानांतरित हो जाती हैं (क्षीण क्षेत्रों में), प्रांतों की चुम्बकनता के सदिश चुम्बककारी क्षेत्र की दिशा में घूम जाते हैं (प्रबल क्षेत्रों में) और फलस्वरूप लौहचुम्बिक चुम्बकित हो जाते हैं।

चुबकीय क्षेत्र में रख गये लौहचुम्बिक के रेखिक नापों में परिवर्तन होता है, अर्थात् उसकी रूप-विकृति होती है। इस संवृत्ति का चुबकीय अपरूपण कहते हैं। लंबाई में मापेक्षिक वृद्धि लौहचुम्बिक की प्रकृति और चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता पर निर्भर करती है। चुबकीय विरूपण प्रभाव की मात्रा क्षेत्र की दिशा पर निर्भर नहीं करती, कुछ द्रव्यों में क्षेत्र के अन्तरीर लंबाईयों में कमी आ जाती है (जैसे निकल में) और कुछ में वृद्धि (जैसे क्षीण क्षेत्रों के कारण ताँबे में)। इस संवृत्ति का उपयोग 100 kHz तक की आवृत्ति वाले परासोनिक शक्ति प्राप्त करने में होता है।

## सारणी और ग्राफ

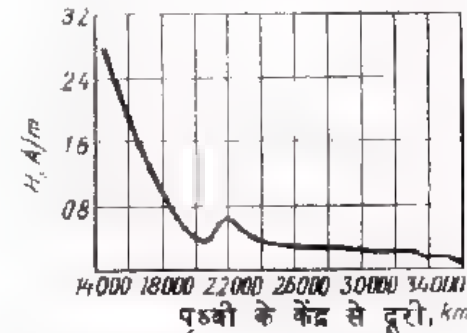
### पृथ्वी का चुबकीय क्षेत्र

पृथ्वी चुबकीय क्षेत्र में आवृत है।

पृथ्वी के जिन बिंदुओं पर चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता की दिशा रद्व होती है उन्हें चुबकीय ध्रुव कहते हैं। इस बिंदु पर क्षेत्र शून्य है। उत्तरी चुबकीय ध्रुव (यहां बल-रेखाओं की दिशाएँ नीचे की ओर हैं) और दक्षिणी चुबकीय ध्रुव (यहां बल-रेखाओं की दिशाएँ ऊपर की ओर हैं)। पृथ्वी के चुबकीय व सामाजिक ध्रुव संपात नहीं करते; उत्तरी चुबकीय ध्रुव दक्षिणी ध्रुव से थोड़ा दूर है। दक्षिणी चुबकीय ध्रुव—उत्तरी गोलार्ध में। चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता अंतर में बदलती रहती है।

चुबकीय ध्रुवों में गुजरने वाली सरल रेखाएँ पृथ्वी के चुबकीय अक्ष कहती हैं। चुबकीय अक्ष के अभिलंब तल पर स्थित चुबकीय विष्वक चुबकीय विष्वक कहलाती है। चुबकीय विष्वक के बिंदुओं पर चुबकीय क्षेत्र तीव्रता की दिशाएँ क्षैतिज होती हैं। चुबकीय अक्ष पृथ्वी के अक्ष से थोड़ा अक्ष के साथ संपात नहीं करता।

चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता चुबकीय विष्वक पर करीब  $27 \text{ A/m}$  होती है और चुबकीय ध्रुवों पर—करीब  $52.5 \text{ A/m}$ । कुछ स्थानों पर  $100 \text{ A/m}$  तक अधिक होती है; इन स्थानों को चुबकीय असमरति कहते हैं। चुबकीय असमरति के कुम्फाया अंचल (रूसी रिपब्लिक में उक्रेन का सामोरा प्रांत) में तीव्रता  $\sim 160 \text{ A/m}$  तक है।



चित्र 50, अधिक ऊँचाइयों पर पायिव चुबकीय क्षेत्र की तीव्रता।

सारणी 98. विद्युतकनीक में प्रयुक्त इस्पातों के गुण

इस्पात का नाम	$\mu_{in}$	$\mu_{max}$	$H_c$ A m	$B$ (2kA, cm पर) T	$\rho$ $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
9 31	250	5500	43.8	1.46	0.5
9 41	300	6000	35.8	1.46	0.6
9 42	400	7500	31.8	1.45	0.6
9 45	600	10000	19.9	1.46	0.6
9 310	1000	30000	9.6	1.75	0.5

सारणी 99. लोहा-निकेल धातुमिश्र के गुण

धातु मिश्र	$\mu_{in}$	$\mu_{max}$	$H$ A m	$M_s$ MA m	$\rho$ $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
79HM	20000	100000	2.4	0.64	0.55
30HNC	35000	120000	1.2	0.56	0.62
50HCX	3000	30000	15.9	0.80	0.85
50H	3000	35000	9.55	1.19	0.45
65HH	3000	40000	7.90	1.04	0.35
90HH	2000	20000	15.9	1.19	0.45
Mn-समश्लेष	20000	75000	2.4	0.67	0.55
70% Ni रेमैनेबल	10000	40000	2.1	0.85	0.16

टिप्पणी \* -1. इन मिश्र-धातुओं की चुंबकीय क्षमता बहुत ऊँची होती है और इस कारण वास्तव में वे उच्च आधुनिक प्रभाव से लेवी के साथ कम होकर लगभग 1/3 तक प्रतिवर्तित हो जाते हैं। प्रतिवर्तन पर भी बहुत प्रभाव पड़ता है।  
\*, प्रतीक ऊर्ध्व पृ. 184-186 पर।

सारणी 100. ठोस चुंबिक द्रव्यों के गुण

द्रव्य	$H$ k A m	$B$ T	$HB$ 2 kJ m <sup>-3</sup>
इस्पात EX3	115	0.91	1.2
EB6	115	0.91	1.2
BX5K5	115	0.91	1.2
EX9K15M	115	0.91	1.2
प्लैटिनम-चुंबकीय मिश्रधातु	115	0.91	1.2
वेरियम फराइट	115	0.91	1.2
Alni 1 (AH 1)	115	0.91	1.2
Alni 3 (AH 3)	115	0.91	1.2
Alnico 12 (AHKO 1)	115	0.91	1.2
Alnico 18 (AHKO 3)	115	0.91	1.2
Alnisi (AHK)	115	0.91	1.2
Magnico AHKO 4	115	0.91	1.2

टिप्पणी 1—इन द्रव्यों का निर्गता बल बहुत अधिक होता है और वे बहुत अधिक बल के काम आते हैं। इनका एक महत्वपूर्ण लक्षण है कि वे 1000°C तक भी अत्यधिक उच्च मान। यह सभी लौहचुंबिकों को आघात 1000°C तक ही नहीं बढ़ा सकता है। अधिकतम ऊर्जा के साथ समाप्त होती है।

सारणी 101. चुंबकीय पारविद्युतों के गुण

द्रव्य	$\mu$	$10^{-4} K$
प्रम पैर T4 180	60-200	100
आल सीफर T4-90	75-85	400
आल सीफर T4-60	55-65	100-400
आल सीफर B4-32	30-34	200-400
रीड कार्बोनिज	11-14	50-100
फेरो-एलास्ट	9-10	50-100
आल सीफर P4-6	5-8	10-150

टिप्पणी 1—चुंबकीय पारविद्युत लौहचुंबिकों के समान ही  $10^{-4} (10^{-4} \text{cm})$  में वर्गीकृत हैं, जो पारविद्युत द्वारा परस्पर संबद्ध रहते हैं। इसका एक विशेष प्रतिरोध  $\rho$  से 400  $\Omega \cdot \text{cm}$  के परास में होता है। प्रतिरोध का मापन भी महत्वपूर्ण है।

सारणी 102. फेराइटों के मुख्य गुण

फेराइट	$\mu_{10}$	$\chi$ , $10^{-6} \text{K}^{-1}$	$\rho$ , $\Omega \text{cm}$
निकल-जिंक व नोबियम-जिंक फेराइट			
2000HH	2000	6	} $10^4-10^7$
600HH	600	6	
400HH	400	5	
200HH	200	4-25	
100HH	100	10-30	
50BH	50	50	
मैंगनीज जिंक फेराइट			
4000HM	4000	2	} 10
3000HM	3000	3	
2000HM	2000	0.6-1.5	
1000HM	1000	0.5-1.5	
100HM	1000	1.5	

टिप्पणी : फेराइट धातुओं (निकेल, जस्ता, कोबाल्ट) के आक्साइडों का मिश्रण है, जिसका विशिष्ट प्रतिरोध विशेष तापीय उपचार द्वारा बढ़ा दिया जाता है। ये पदार्थ का तापकर्म गुणक है।

सारणी 103 पराचुंबिकों व पारचुंबिकों की चुंबकीय क्षमता

पराचुंबिक	$(\mu-1)$ , $10^{-6}$	पारचुंबिक	$(1-\mu)$ , $10^{-6}$
नाइट्रोजन	0.013	हाइड्रोजन	0.063
हवा	0.38	बैजोन	2.5
आक्सीजन	1.9	एलीन	9.0
एथेनाइट	14	तांबा	10.3
अनुमोनियम	23	कॉपर	12.6
एस्टन	176	साधारण नमक (समिश्र)	12.6
कोबाल्ट	360	क्वार्ट्ज	15.1
द्रव आक्सीजन	3400	विस्मय	176

सारणी 104. धातुओं का स्वरो तापक्रम

धातु	$T_c$ , °K	$\chi$ , $10^{-6} \text{K}^{-1}$	$T_c$ , °C
नेकनोबियम	0	0.1-0.2	585
वैद्युत मिश्रधातु			
वैद्युत मिश्रधातु 30%	70	2	219
राइमलर मिश्रधातु	200	3	219
निकेल	358	1.5-2.0	71
वैद्युत मिश्रधातु 73%	550	4.0-5.0	110

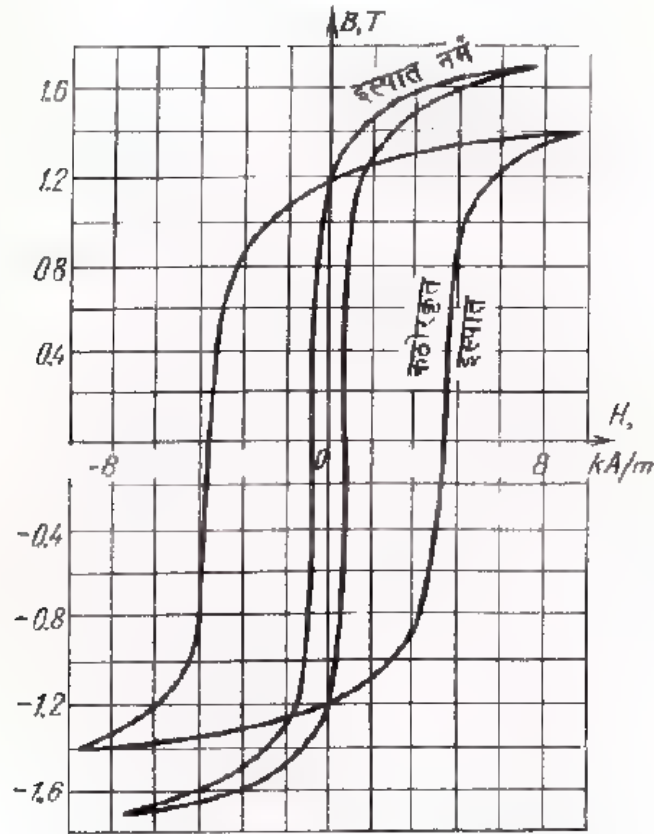
सारणी 105. धातुओं तथा अर्धचालकों की चुंबकीय क्षमता  
(18-20° से° पर)

धातु	$\chi_p$ , $10^{-6} \text{cm}^3/\text{g}$	धातु	$\chi_p$ , $10^{-6} \text{cm}^3/\text{g}$
अनुमोनियम (ब)	0.58	टिन (ब)	0
इरियम (ब)	-0.11	रेनियम (ब)	0
एथेनाइट (ब)	-0.80	तांबा (ब)	10.3
कैडमियम (ब)	0.18	पारा (द्र)	10.3
कैल्शियम (ब)	1.1	मैंगनीज (β α)	10.3
कोबाल्ट (ब)	3.6	लीथियम	0
जर्मी (ब)	0.19	वैनेडियम (ब)	1.4
जर्मोनियम	-0.12	सीसा (ब)	0.12
जस्ता (ब)	-0.14	सेलेनियम (ब)	0
एथेनाइट (ब)	0.28	सोडियम	0

टिप्पणी - कोष्ठक में दिय गये प्रतीक : ब—अर्धचालक, द्र—द्रव, अ—अक्रिस्टलीय, α व β—संवर्धन स्थान।





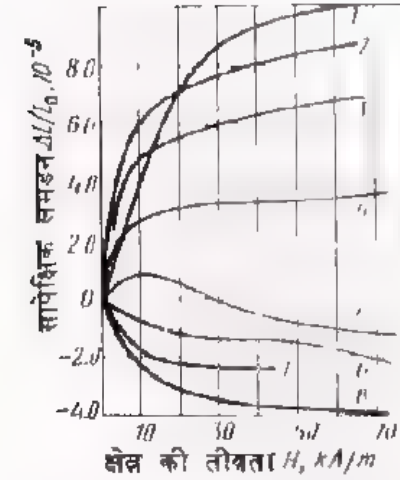


चित्र 62. नर्म लोहे और कठोरकृत इस्पात ( $\approx 1\%$  C युक्त) के लिये चित्रावन-पाश।

सारणी 107. प्रेरिता का कलन करने के लिए गुणांक  $k$  के मान

नपेटन की लंबाई और उसके व्यास का अनुपात ( $l/d$ )	0.1	0.5	1	5	10
$k$	0.2	0.5	0.6	0.9	$\sim 1.0$

नियमणी :  $-1/d \geq 10$  के लिए  $k \approx 1$ ।



चित्र 63. चुंबकीय विक्रमण में अलग-अलग विद्युत

1— $54^\circ$ , Pt, 46% Fe; 2— $70^\circ$ , Co, 30% Fe; 3— $10^\circ$ , Co, 50% Fe; 4— $50^\circ$ , Ni, 50% Fe; 5—नर्म लोहा; 6—कठोरकृत लोहा; 7—फराइट 20% Ni, 80% Zn; 8—निकेल (कठम या अल्प मात्रा में मिश्रित मृदाओं) में यूरैथियम-योगिकों के लिये  $\Delta I/I_0$  करीब 2-3 कम होकर लगभग 1।

## D. वंछुत दोलन और विद्युचुंबकीय तरंग

### मूल अवधारणाएं और नियम

#### 1. परिवर्ती धारा

मान या दिशा (या दोनों ही) में कालांतर से बदलते रहने वाली धारा को परिवर्ती धारा कहते हैं। सिर्फ मान के अनुसार बदलने वाली धारा को स्पर्श धारा कहते हैं। अधिकतर स्थितियों में ज्यावत परिवर्ती धारा प्रयुक्त होती है (चित्र 64)। आवर्ती अज्यावत धारा का ज्यावत परिवर्ती धाराओं के योगफल के रूप में किसी भी कोटि की परिशुद्धता से व्यक्त कर सकत है (दे. पृ 105)

ममय के किसी दिये गये क्षण में परिवर्ती धारा के बल का सांख्यिक मान



परिचालक वाहताओं के बीच प्रावस्था का अंतर निम्न समीकरण से निर्धारित होता है।

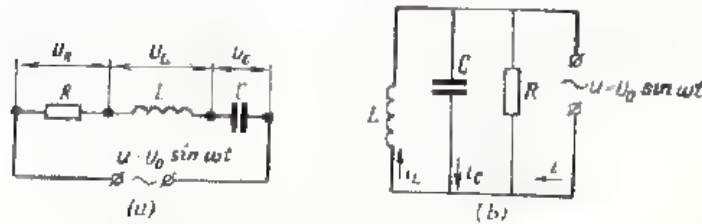
$$\cos \varphi = r/Z, \quad (4.86)$$

यदि शुक्ल अनुनादी आकृति में  $r_L = r_C$ , तो  $\varphi = 0$ : पूर्ण प्रतिरोध का मान निम्नतम होता है ( $r$  के बराबर; दे. चित्र 70), और धारा-बल का आयाम महत्तम मान ( $I_{\max}$ ) रखता है (जब वाह्य वाहता  $L_0$  का मान स्थिर हो)। इस अवृत्ति को **शुक्ल वैद्युत अनुनाद** (या **वोल्टता का अनुनाद**) कहते हैं।

वाहताओं के अनुनाद में प्रेरिता व सघनक पर वाहताओं के आयाम समान होते हैं, पर इन वोल्टताओं ( $U_L$  व  $U_C$ ) के क्षणिक मान प्रावस्था की दृष्टि से परस्पर विपरीत होते हैं।

अनुनाद की स्थिति में सघनक पर वोल्टता के आयाम  $U_C$  व वाह्य परिवर्ती वोल्टता के आयाम  $U_0$  का अनुनात आकृति की उत्कृष्टता  $Q$  कहलाता है। यदि  $r(2L) \ll \omega_0$ , तो  $Q = \omega_0 L/r = 1/(\omega_0 CR) \gg 1$  अनुनादो आवृत्ति है जो परिस्थिति  $r_L = r_C$  द्वारा निर्धारित होती है।

अनुनाद में (यदि  $Q \gg 1$ ), सघनक व प्रेरिता पर वोल्टताओं के आयाम वाह्य वोल्टता के आयाम से बहुत अधिक होते हैं, क्योंकि  $U_L = U_C = QU_0$ ।



चित्र 65. शुक्ल (a) और समांतर व अनुनाद (b) आकृतियाँ।

प्रेरिता  $L$ , प्रेरिता  $L$  व सक्रिय प्रतिरोध  $r$  को परिवर्ती वोल्टता के स्रोत का साथ समानरूप रूप में जोड़ा जा सकता है (चित्र 65b)। इस प्रकार में प्राप्त गयी आकृति  $LC$  का **समांतर अनुनादी आकृति** कहते हैं। चित्र 65b

में दिखायी गयी समांतर अनुनादी आकृति का पूर्ण प्रतिरोध निम्न समीकरण द्वारा निर्धारित होता है।

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{r^2} + \left( \frac{1}{r_L} - \frac{1}{r_C} \right)^2, \quad (4.87)$$

जहाँ पूरे परिपथ में वोल्टता  $U$  व धारा  $i$  के बीच प्रावस्था अंतर— निम्न समीकरण से

$$\cos \varphi = r \left( \frac{1}{r_L} - \frac{1}{r_C} \right) \quad (4.88)$$

प्रावस्था अंतर  $\varphi = 0$  होगा, यदि  $r_L = r_C$ ; इस अवृत्ति का **समांतर वैद्युत अनुनाद** (या **धारा का अनुनाद**) कहते हैं। समांतर अनुनाद में पूर्ण प्रतिरोध  $Z$  का मान महत्तम होता है ( $Z_{\max}$ )। पूरे परिपथ में धारा-बल का आयाम निम्नतम मान ( $I'_{\min}$ ) रखता है, सघनक व प्रेरिता में धारा-बल  $I_C$  व  $I_L$  के आयाम बराबर होते हैं, पर धारा  $I_C$  व  $I_L$  के क्षणिक मान प्रावस्था की दृष्टि से विपरीत होते हैं। समांतर अनुनादी आकृति की उत्कृष्टता  $Q = I_C = I_L = I/I'_{\min}$ ; यदि  $Q \gg 1$ , तो अनुनाद की स्थिति में शाखा  $L$  व  $C$  के धारा-बल के आयाम पूर्ण धारा  $I'_{\min}$  के आयाम से अधिक होते हैं। आदर्श समांतर आकृति (दे. चित्र 65b) में  $\omega/\omega_0$  पर अनुपात  $I'_{\min}/I$  की निर्भरता वैसी ही होती है, जैसी शुक्ल अनुनादी आकृति में  $I/I_{\max}$  की (दे. चित्र 72);  $\omega_0$  अनुनाद की आवृत्ति है, जो परिस्थिति  $r_L = r_C$  द्वारा निर्धारित होती है।

समांतर आकृति का सही हिसाब लगाने के लिए परिपथ में सक्रिय प्रतिरोध के  $L$  व  $C$  को ध्यान में रखना चाहिये। प्रेरिता व धारिता में सक्रियता की स्थिति में  $\omega = \omega_0$  पर अनुपात  $Z/Z_{\max}$  की निर्भरता चित्र 71 के ग्राफ में दिखायी गयी है।

परिवर्ती धारायुक्त चालक में प्रेरित धारा उत्पन्न होती है, जिसके कारण चालक की सतह पर धारा का घनत्व अधिक हो जाता है, धर्तन्यत्व कि उसके बीच में। उच्च आवृत्तियाँ पर चालक के अक्ष के पास धारा का घनत्व यावहारिकतः शून्य हो जा सकता है। इस अवृत्ति को **सतह प्रभाव** (या **त्वक्षीय प्रभाव**) कहते हैं।

## 2. दोलक आकृति

वेद्युत गणिता (आवेश धारा-बल दालन) में सीमित परिवर्तन, जो किसी आगत मान के सापेक्ष पूर्णतः या अंशतः दूरस्थ रहते हैं, वेद्युत दोलन कहलाते हैं। परिवर्ती वेद्युत धारा विद्युत दालन का ही एक प्रकार है।

एक आवृत्ति के वेद्युत दोलन आधिकतम स्थितियाँ में दोलक आकृति की मध्यमा से प्राप्त होते हैं।

दोलक आकृति एक सरल परिपथ है, जिसमें प्रेरिता  $L$  और धारिता  $C$  होती है।

आकृति के नैसर्गिक या स्वतंत्र दालन का आवृत्ति कोण

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (4.89)$$

इस संबंध का टाउसन का सूत्र कहते हैं। यह तब लागू होता है जब ऊर्जा की हानि नहीं होती। आकृति में ऊर्जा हानी होने पर (जैसे सक्रिय प्रतिरोध  $r$  के कारण) आकृति का स्वतंत्र दालन तेवर होता है और

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{r}{2L}\right)^2}} \quad (4.90)$$

तथा आकृति में धारा नखरे दालन के नियम के अनुसार बदलती रहती है।

$$i = I_0 e^{-\frac{r}{2L} t} \sin \omega t \quad (4.91)$$

नखरे दालन का घात वृ.  $10^8$  पर (चित्र 26) है।

दोलक आकृति पर परिवर्ती विद्युत के प्रभाव से आकृति में आरोपित दोलन उत्पन्न होते हैं।  $L$ ,  $C$ ,  $r$  के मान स्थिर होने पर धारा के आरोपित दालनों का आयाम आकृति के दालनों की निजी आवृत्ति और ज्यादा विद्युत के परिवर्तन की आवृत्ति के अनुपात पर निर्भर करता है (दे चित्र 72)।

## 3. विद्युच्चुंबकीय क्षेत्र

विया-मावार्ट-लैंगम के नियमानुसार (दे पृ. 178) धारायुक्त चालक के गिरे सवृत बल-रेखाओं वाला चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न होता है। ऐम क्षेत्र को भंबरी कहते हैं जिस चालक में परिवर्ती धारा बहती है, उसके गिरे परिवर्ती चुंबकीय क्षेत्र बनेता है।

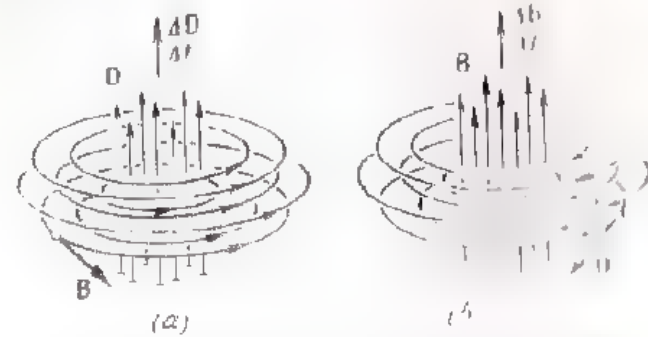
परिवर्ती धारा भचनक से गुजरती है (दे पृ. 178)। स्थिर धारा में गुजरती है; पर यह धारा चालक के चारों ओर, इस स्थानान्तरण-धारा कहते हैं, स्थानान्तरण धारा के समान दालन बना देद्युत-क्षेत्र है वह आवृत्ति की परिवर्ती धारा के चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र बनेता है। स्थानान्तरण धारा का मान

$$D = \frac{\Delta D}{\Delta t} \quad (4.92)$$

या  $D$  वेद्युत क्षेत्र का स्थानान्तरण

का मात्रक में वेद्युत क्षेत्र के स्थानान्तरण में परिवर्तन के कारण पड़ता है। इस क्षेत्र पर परिवर्ती भंबरी चुंबकीय क्षेत्र बनेता है (दे पृ. 178)। स्थानान्तरण धारा के सदिश  $B$  सदिश  $D$  के लंबवत समानांतर होते हैं।

आकृति का व्यक्त करने वाला गणितीय मूल संकेतों का प्रथम समीकरण



जब  $\sin$  वेद्युत क्षेत्र के स्थानान्तरण में परिवर्तन से लंबवत होता है।

समीकरण का प्रथम समीकरण  $b$  चुंबकीय क्षेत्र का मान होता है।

दे चित्र को अनुसंधान समीकरण का दूसरा समीकरण

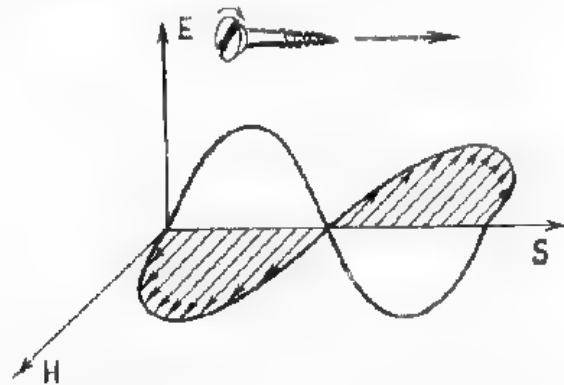
विद्युच्चुंबकीय प्रणय के कारण सवृत बल रमते हैं। यह क्षेत्र (सर्वर) उत्पन्न होता है जो प्रणय के विचार (दे पृ. 178) के अनुसार प्रकट होता है। स्थान क्षेत्र के प्रणय में समय के अनुसार परिवर्तन का कारण व्यास

पर भंबरी विद्युत क्षेत्र उत्पन्न होता है (दे पृ. 178)। पर

विद्युत क्षेत्र के सदिश  $D$  सदिश  $B$  के लंबवत होते हैं। यह नियम

का व्यक्त करने वाला समीकरण (4.93) पर (4.94) द्वारा समीकरण बनेला है।

वैद्युतचुम्बकीय क्षेत्र मिल-जुल कर विद्युचुम्बकीय क्षेत्र कहलाते हैं।



चित्र 67 विद्युचुम्बकीय तरंग में सदिश  $E$ ,  $H$  व  $S$  का साम्यांगिक स्थिति

मैक्सवेल के समीकरणों से निष्कर्ष निकलता है कि वैद्युत (या चुम्बकीय) क्षेत्र में समय के अनुसार होने वाले सभी परिवर्तन एक बिंदु से दूसरे बिंदु पर प्रसारित होते रहते हैं। इस प्रक्रिया में वैद्युत व चुम्बकीय क्षेत्रों का परस्पर रूपांतरण होना रहता है। विद्युचुम्बकीय तरंग परिवर्तनशील वैद्युत व चुम्बकीय क्षेत्रों का व्योम में परस्पर सन्नद्ध प्रसरण है। असीम व्योम में प्रसरण करती विद्युचुम्बकीय तरंग में वैद्युत व चुम्बकीय क्षेत्रों की तीव्रताओं के सदिश ( $E$  व  $H$ ) परस्पर लंब होते हैं और प्रसरण की दिशा सदिश  $E$  व  $H$  के लंब के साथ लंब होती है (चित्र 67)।

निर्वात में विद्युचुम्बकीय तरंगों के प्रसरण का वेग तरंग-लंबाई पर निर्भर नहीं करता और उसका मान होता है

$$c = 2.997925 \times 10^8 \text{ m/s}$$

विभिन्न माध्यमों में विद्युचुम्बकीय (संक्षेप में विद्यु-अनु) तरंगों के वेग निर्वात में उसके वेग से कम होते हैं,

$$v = \frac{c}{n}, \quad (4.93)$$

जहाँ  $n$  -माध्यम का अपवर्तनांक (दे पू. 213)

विद्यु तरंग ऊर्जा वहन करती है

विकिरण प्रवाह का तलीय घनत्व  $S$  एक वेगी राशि है, जिसका मापक तरंग द्वारा प्रसरण की दिशा के लंब स्थित एक क्षेत्र क्षेत्रफल में इकट्ठा समय में वहन की जाने वाली ऊर्जा के बराबर होता है

$$S = |EH| \quad (4.94)$$

यदि  $S$  की पार्श्वदृष्टि सदिश कहने दें; उसका दिशा तरंग प्रसरण की दिशा के साथ लंब होती है।

#### 4. विद्युचुम्बकीय तरंगों का उत्सर्जन

त्वरण के साथ गतिमान आवेशकण विद्यु तरंगों का उत्सर्जन करते हैं। द्विध्रुव (दे पू. 134), जिसके आवेशों की परस्पर दूरी  $2a$  तथा आवेश  $q$  के अनुसार बदलती है विद्यु तरंग उत्सर्जन करता है। विकिरण-प्रवाह है

$$\phi_d = Q^2 \omega^4 / (12\pi\epsilon_0 c^3), \quad (4.95)$$

जहाँ  $Q$  द्विध्रुव का आवेश,  $\epsilon_0$  -वैद्युत स्थिरांक,  $\omega$  -वैद्युत आवृत्ति,  $c$  -निर्वात में तरंग-वेग।  $\phi_d$  इकाई समय में उत्सर्जित ऊर्जा है (चित्र 68)। बराबर की एक राशि है

विद्यु तरंगों का उत्सर्जन हर ऐसा चालक करता है, जिसमें आवेशों का गति होती है। उत्सर्जन सबसे अधिक कारगर तब होता है, जब आवेशों का विकिरण तरंगों की लंबाइयों के साथ तुलनीय हो। कारगर ढंग में उत्सर्जित (या ग्रहण) करके वाला माध्यम प्रसारण-एरियल कहलाता है।

धारा का मूल  $i\Delta l$  जिसमें धारा  $i$  चल सनादी  $\Delta l$  है।  $i$  के अनुसार बदलता है विद्यु क्षेत्र उत्सर्जित करता है, जिसका वैद्युत क्षेत्र  $E_\theta$  की तीव्रता प्रमाण

$$E_\theta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \left( \frac{\Delta l}{r} \right) \sin \theta \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} (r - ct) \right)$$

और

$$H_\theta = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta l}{\lambda r} \right) \sin \theta \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} (r - ct) \right)$$

होती है जहाँ  $\theta$  धारा-मूल  $i\Delta l$  व प्रक्षेप बिंदु की दूरी  $r$  के बीच का कोण है और चालक में धारा की दिशा के बीच का कोण  $\theta$  है।  $\lambda = 2\pi a$  तरंग-





चित्र 68. धारा-मूल द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्रों की तीव्रताओं का कलन।

संख्या,  $\lambda =$  तरंग की लंबाई,  $r =$  धारा-मूल व बिंदु A की आपसी दूरी, जिस पर तीव्रता मापी जा रही है, साथ ही :  $r \gg \lambda$ ,  $r \gg \Delta l$  (चित्र 68)।

धारा-मूल  $i\Delta l$  द्वारा उत्पन्न विकिरण-प्रवाह  $\phi$  निम्न सूत्र द्वारा कलित होता है :

$$\phi = \frac{2\pi}{3} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \left( \frac{i\Delta l}{\lambda} \right)^2 \quad (4.98)$$

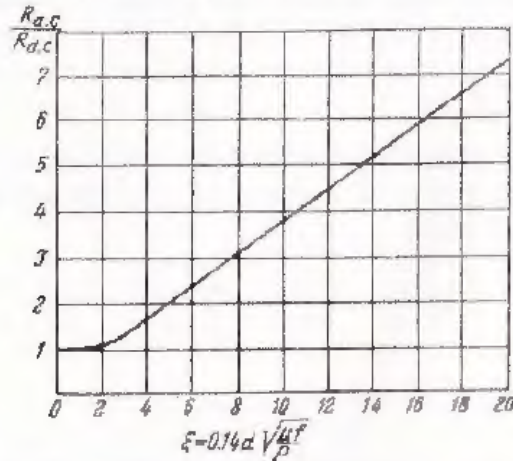
### सारणी और ग्राफ

स्थिर व परिवर्ती धाराओं के लिए प्रतिरोध

परिवर्ती व स्थिर धाराओं के विकट प्रतिरोधों का अनुपात परासितक  $\xi$  पर निर्भर करता है

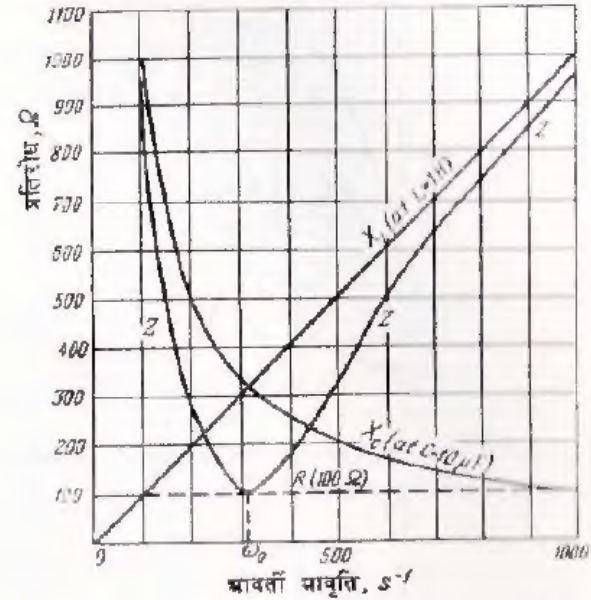
$$\xi = 0.14d \sqrt{\frac{\mu f}{\rho}}$$

जहाँ  $d =$  चालक का व्यास (cm में),  $f =$  आवृत्ति (Hz में),  $\rho =$  त्रिगण्ट प्रतिरोध ( $\Omega \cdot \text{cm}$  में),  $\mu =$  चुंबकीय वेद्यता।

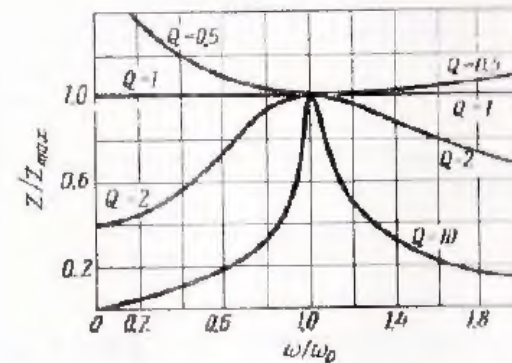


चित्र 69. परासितक  $\xi$  पर परिवर्ती व स्थिर धाराओं पर प्रतिरोधों के अनुपात की निर्भरता।

आवृत्ति पर श्रेय, धारक व पूर्ण प्रतिरोधों की निर्भरता



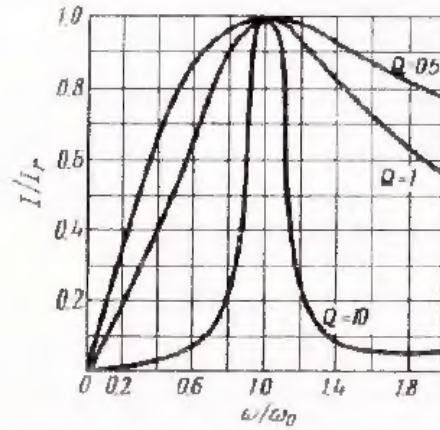
चित्र 70. शुद्ध अनुनादी आकृति में श्रेय, धारक व पूर्ण प्रतिरोधों में आवृत्ति के साथ होने वाले परिवर्तन।



चित्र 71. समान अनुनादी आकृति में आवृत्ति पर पूर्ण प्रतिरोध  $Z$  की निर्भरता। अक्षों पर सापेक्षिक मान  $Z/Z_{\max}$  व  $\omega/\omega_0$  लिखे गये हैं। कलन उस स्थिति के लिये है, जब  $L$  व  $C$  शाखाओं में सक्रिय प्रतिरोध समान हो।



शुक्ल अनुनादी आकृति में आवृत्ति पर धारा-बल की निर्भरता



चित्र 72. शुक्ल अनुनादी आकृति में आवृत्ति पर धारा-बल की निर्भरता।

सारणी 108. तारों के तार में उच्च-आवृत्ति वाली धारा की वेधन-गहनता  $\sigma$

आवृत्ति, MHz	0.01	0.1	1	10	100
$\sigma$ , mm	0.65	0.21	0.065	0.021	0.0065

टिप्पणी :—1. अन्य आवृत्तियों तथा अन्य द्रव्यों के लिये  $\sigma$  का मान निम्न सूत्र द्वारा प्राप्त हो सकता है :

$$\sigma = 5033 \sqrt{\rho(\mu \cdot f)}$$

जहाँ  $\sigma$ —वेधन की गहराई (cm),  $\rho$ —विशिष्ट प्रतिरोध ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ),  $\mu$ —द्रव्य की चुंबकीय वैधिता,  $f$ —आवृत्ति (Hz)।

2. वेधन-गहनता (वेधन की गहराई) तार की सतह से उस दूरी को कहते हैं, जहाँ (सतह की तुलना में) धारा का घनत्व  $\sigma$  गुना कम होता है;  $e$ —प्राकृतिक लघुगणक का आधार ( $e \approx 2.72$ ) है।

सारणी 109. विद्युच्चुम्बकीय विकिरण का पैमाना

तरंग-लंबाई	आवृत्ति (Hz)	पराम	तरंगों (या आवृत्तियों) के वर्ग	धारा की मुख्य विधियाँ और उपयोग
$10^8 \text{ km}$	$10^{13}$	$3 \times 10^{-3}$	अल्प-आवृत्ति की तरंगें	अवकाश आवृत्ति
$10^6 \text{ km}$	$10^{11}$	$3 \times 10^{-1}$	अल्प-आवृत्तियाँ	विशेष तरंगों के अतिवृद्धि
$10^5 \text{ km}$	$10^{10}$			ऑप्टिकल धारा के अतिवृद्धि (परिवर्तन), सीमित-वेधन उपकरण, व. अतिवृद्धि 50-100 Hz वाली परिवर्तन धारा का उपयोग करते हैं।
$10^3 \text{ km}$	$10^8$	$3 \times 10^2$		स्वनिता आवृत्तियाँ
				स्वनिता आवृत्तियाँ: उपयोग—विद्युत् (घाटक, घाटक-घाटक), विद्युत्, रेडियो-प्रसारण में
$1 \text{ km}$	$10^5$	$3 \times 10^5$	रेडियो-तरंगें	दीर्घ
				मध्यम
				तनु
$1 \text{ m}$	$10^2$	$3 \times 10^8$		मीटर
$1 \text{ dm}$	$10$	$3 \times 10^9$		इन्फ्रारेड

(सारणी 109 का अंश)

तरंग-लंबाई	आवृत्ति (Hz)	परास	तरंगों (या आवृत्तियों) के गुण	प्राप्ति की मुख्य विधियाँ और उपयोग
1cm	$10^{10}$	रेडियो-तरंगें	सेटोमीटर	मैग्नेट्रोन- व ट्रिग्लेटर-जनित और मेसर (maser) द्वारा उत्पन्न; उपयोग—रडार, सूक्ष्मतरंगी स्पेक्ट्रमदर्शी और रेडियो-ज्योतिर्विज्ञान में
1mm	$10^{11}$		मिनिमीटर	
			मध्यवर्ती	
1μm	$10^{14}$	अवरक्त किरणें	इंफ्रा-माइक्रोन	तप्त पिंडों (आर्क व गैसीय निराविष्टक बल्बों आदि) से विकिरणित; उपयोग—अवरक्त स्पेक्ट्रमदर्शी व अंधेरे में फोटो-ग्राफी के लिये (अवरक्त किरणों में)
			माइक्रोन	
		प्रकाश-किरणें		
1mm	$10^{17}$	पराबैंगनी	विकट	सूर्य, पारक-वाष्प बल्ब आदि के विकिरण से; उपयोग—पराबैंगनी सूक्ष्मदर्शी, क्षोणित बल्ब और चिकित्सा में
			दूर	
1Å	$10^{18}$	एक्स-रे	कठोर	एक्स-रे-नली व अन्य उपकरणों से उत्पन्न होती है, जिनमें 1 keV ऊर्जा वाले एलेक्ट्रॉन संक्षिप्त होते हैं; उपयोग—निदान के लिये (चिकित्सा में), द्रव्य की रचना के अध्ययन में, त्रुटि-खोज (flaw detection) में
			नर्म	
			कठोर	

(सारणी 109 का अंश)

तरंग-लंबाई	आवृत्ति (Hz)	परास	तरंगों (या आवृत्तियों) के गुण	प्राप्ति की मुख्य विधियाँ और उपयोग
$1 \times 10^{-11}$ to $3 \times 10^{-11}$		गामा-किरणें		नाभिकीय के दक्षिण सक्रिय अथवा 0.1 MeV वाले एलेक्ट्रॉन के मंदन से तथा अन्य प्राथमिक कणों की क्षतिप्रक्रिया से उत्पन्न होती है; उपयोग—गामा त्रुटि-खोज व इत्यादि के गुणों के अध्ययन में

टिप्पणी :—सारणी में लघुगुणकी पैमाना दिया गया है। प्रथम स्तंभ में तरंग की लंबाई दी है (घांसे cm में और बायाँ और लंबाई की अन्य इकाइयाँ में), स्तंभ 2 में—आवृत्ति (Hz में), स्तंभ 3 में—परास के नाम, स्तंभ 4 में—आवृत्ति (या तरंगों) के गुणों के नाम, स्तंभ 5 में—विद्युच्चुंबकीय दोनों को प्राप्त करने की मुख्य विधियाँ और उनके उपयोग।

**अल्पावृत्ति दायी व रेडियो तरंगों की आवृत्ति सबसे कम होती है। ये तरंग विभिन्न कृत्रिम दोलकों द्वारा विकिरणित होती हैं।**

**अवरक्त विकिरण मुख्यतः परमाणुओं या अणुओं के दोलन से प्राप्त होती है।**

**प्रकाश तरंगें या पराबैंगनी विकिरण अणुओं या परमाणुओं में बाह्य अणु व एलेक्ट्रॉन की अवस्था-परिवर्तन से प्राप्त होती है (दे. पृ. 250)।**

**एक्स-किरणें परमाणु के आंतरिक अक्ष से एलेक्ट्रॉन की अवस्था-परिवर्तन (खंडक विकिरण) से, या एलेक्ट्रॉन अथवा अन्य आविष्ट कण का तेजी से मंदन करने से प्राप्त होती हैं।**

**गामा किरणें नाभिकों के उद्दीप्त तथा अन्य प्राथमिक कणों की क्षतिप्रक्रिया से प्राप्त होती हैं।**

कुछ प्रकार की तरंगों के बारे में सूचनाएँ अपने अध्याप (‘‘प्रकाशिकी’’) में मिलेंगी।



## प्रकाशिकी

### मूल अवधारणाएं और नियम

**प्रकाशिकीय विकिरण** (प्रकाश) 0.01 nm से 1 cm की तरंग-लंबाई वाला विद्युच्चुंबकीय विकिरण है। ऐसी तरंगों का स्रोत परमाणु व अणु होते हैं, जिनमें पर्यवर्तना की ऊर्जा अवस्था में परिवर्तन होता है (दे. पृ. 248)। प्रकाशिकीय विकिरण में दृश्य विकिरण का परास विनिष्ट है, जिसमें 400 से 760 nm की लंबाई वाली तरंगें आती हैं।

#### 1. ऊर्जा और प्रकाशीय राशियां, प्रकाशमिति

**विकिरण-ऊर्जा** यह किसी पिंड या माध्यम द्वारा उत्सर्जित फोटोता (दे. पृ. 227) या विद्युच्चुंबकीय तरंगों (दे. पृ. 203) की ऊर्जा है। मनीवांछित तल में विद्यु तरंगों द्वारा इकाई समय में वहन की जाने वाली ऊर्जा के औसत मान को **विकिरण-प्रवाह** कहते हैं। मानवीय आंख पर अपने प्रभाव के अनुसार मूल्यरहित विकिरण-प्रवाह ज्योति-प्रवाह कहलाता है।

**विकिरण प्रवाहों के ऊर्जाय लच्छक**, विकिरण-प्रवाह  $\phi_e$  और इस विकिरण के प्रसरण के व्योम कोण  $\Omega$  के अनुपात को **प्रकाश की ऊर्जाय तीव्रता (विकिरण-तीव्रता)** कहते हैं :

$$I_e = \phi_e / \Omega, \quad (5.1)$$

इसकी इकाई है वाट प्रति स्टेरेडियन ( $\text{W/sr}$ )।

**ऊर्जाय प्रकाशिता** विकिरण-प्रवाह  $\phi_e$  और उसके द्वारा समरूपता में प्रकाशित सतह के क्षेत्रफल  $S$  के अनुपात को कहते हैं :

$$E_e = \phi_e / S; \quad (5.2)$$

इकाई—वाट प्रति वर्ग मीटर ( $\text{W/m}^2$ )।

**ऊर्जाय प्रदीप्ति** विकिरण-प्रवाह  $\phi_e$  और विकिरणकारी सतह के क्षेत्रफल  $S_e$  के अनुपात को कहते हैं :

$$R_e = \phi_e / S_e, \quad (5.3)$$

इकाई—वाट प्रति वर्ग मीटर ( $\text{W/m}^2$ )।

**विकिरण-प्रवाह के प्रकाशीय लच्छक**, भिन्न तरंग-लंबाई वाले प्रवाह के प्रति आंखें समान रूप से संवेदनशील नहीं होती। दिन के प्रकाश में आंखें ज्यादातर 555 nm तरंग-लंबाई वाले प्रकाश के प्रति सबसे अधिक संवेदनशील होती हैं। 555 nm तरंग-लंबाई वाले विकिरण-प्रवाह  $\phi_{555}$  और  $\lambda$  तरंग-लंबाई वाले विकिरण-प्रवाह  $\phi_\lambda$  के अनुपात को आंखों की सापेक्षिक

**स्पेक्ट्रमी संवेदनशीलता** या **सापेक्षिक दृश्यमानता** (सापेक्षिक परीक्षण-क्षमता,  $K_\lambda$ ) कहते हैं :  $K_\lambda = \phi_{555} / \phi_\lambda$ ।  $\lambda$  पर  $K_\lambda$  की निर्भरता के प्राप्ति को सापेक्षिक स्पेक्ट्रमी संवेदनशीलता का वक्र कहते हैं। शटपुटे प्रकाश में आंख सबसे अधिक 507 nm तरंग-लंबाई वाले प्रकाश के प्रति संवेदनशील होती है। दिन के प्रकाश में 1 W विकिरण-प्रवाह 680 lm (ल्यूमेन, दे. भाग) ज्योति-प्रवाह के अनुरूप होता है; शटपुटे प्रकाश में 507 nm तरंग-लंबाई वाला 1 W विकिरण-प्रवाह 1745 lm के अनुरूप होता है।

प्रेक्षक से दूरी की तुलना में नगण्य रैखिक मापों वाले स्रोत को बिंदु-स्रोत कहते हैं।

**ज्योति-प्रवाह** की प्रकाश-शक्ति नापने के लिए कैंडेला (cd) नामक इकाई प्रयुक्त होती है। कैंडेला ऐसी प्रकाश-शक्ति को कहते हैं, जो पूर्ण चिक्रिक (दे. पृ. 231) की  $1/600000 \text{ m}^2$  सतह द्वारा तल दिशा में उत्सर्जित होती है; यहाँ चिक्रिक का तापक्रम प्लैटिनम के जगनाक के बराबर (2042 K) है और दाब 101 325 Pa है। कैंडेला की गिनती अ. प्र. की मूल इकाइयों में होती है; इसे निर्धारित करने के लिए विशेष बनावट का मानक तैयार किया गया है।

**ज्योति-प्रवाह** बिंदु-स्रोत की प्रकाश-शक्ति  $I$  और व्योम कोण  $\Omega$  के गुणनफल के बराबर की राशि को कहते हैं :  $\phi = I\Omega$ ।

**ज्योति-प्रवाह** की इकाई ल्यूमेन (lm) है। ल्यूमेन ऐसे ज्योति-प्रवाह को कहते हैं, जो 1 cd प्रकाश-शक्ति के बिंदु-स्रोत द्वारा 1 sr के व्योम कोण में उत्सर्जित होता है। बिंदु-स्रोत द्वारा उत्सर्जित कुल ज्योति-प्रवाह

$$\phi_s = 4\pi I, \quad (5.4)$$